الأكثر مبيعًا بحسب النيويورك تايمز

بيل غيتس

كيف نجتنب كارثة مُناخيّة

الحلول المتوافرة والاختراقات اللازمة





كيف نجتنب كارثة مُناخيّة

بيل غيتس

كيف نجتنب

كارثة مُناخيّة

الحلول المتوافرة

والاختراقات اللازمة

ترجمة:

فاديا قرعان





شركة المطبوعات للتوزيع والنشر ش.م.ل.

ALL PRINTS DISTRIBUTORS & PUBLISHERS s.a.l.

الطبعة الأولى 2022

ISBN: 978–6144–58–572–6

E-ISBN: 978–6144–58–812–3

تدقيق لغوي: حسين إبراهيم

تصميم الغلاف: ريتا كلزي

الإخراج الفني: بسمة تقي

Originally published as: **How To Avoid A Climate Disaster**

This translation published by arrangement with Alfred A. Knopf, an imprint of The Knopf Doubleday Group, a division of Penguin Random House, LLC

الجناح، شارع زاهية سلمان، مبنى مجموعة تحسين الخياط

ص.ب.: 8375-11 بيروت، لبنان

هاتف: 830608 1 961+ فاكس: 830609 1 961+

الموقع الإلكتروني: www.all-prints.com

البريد الإلكتروني: publishing@all-prints.com

مواقع التواصل الاجتماعي: allprintslb

المحتويات

إلى كافة العلماء

والمخترعين والناشطين الذين يقودون المسيرة

مقدّمة

من 52 مليارًا إلى صفر

على مستوى التغيُّر المناخي، عليك أن تحفظ رقمين أساسيين: الأوّل هو 52 مليارًا والثاني هو الصفر.

تُمثِّل الاثنا وخمسون مليارًا عدد أطنان غازات الاحتباس الحراري أو الغازات الدفيئة التي يضيفها العالم سنويًا إلى الغلاف الجوي؛ وفي حين أنّ هذا العدد قد يزيد أو يقلّ بعض الشيء من سنة إلى أخرى، إلَّا أنه آخذ بالإجمال في الارتفاع. هذا *ما وصلنا إليه حاليًا* [1].

أما الصفر، فيمثِّل العدد الذي نطمح إلى بلوغه. فللحدّ من الاحتباس الحراري وتفادي أسوأ العواقب المترتّبة عن التغيُّر المناخي والتي من المتوقّع أن تكون وخيمة، على الإنسان أن يتوقّف عن إضافة غازات الاحتباس الحراري إلى الغلاف الجوي.

قد يبدو الأمر صعبًا، لأنه سيكون صعبًا فعلًا، لاسيّما وأنّ العالم لم يُقدِم على خطوة بهذا الحجم الكبير من قبل، بحيث يتوجّب على كلّ دولة أن تغيّر

أساليبها. عمليًا، لا يمكن ممارسة أيّ من أنشطة الحياة العصرية، كالزراعة، والصناعة، والتنقّل من مكان إلى آخر، من دون إطلاق غازات الاحتباس الحراري، ومن المتوقّع أن يتضاعف الاعتماد على نمط الحياة الحديثة مع مرور الوقت. إنه أمر جيد، لأنه يدلّ على تطوّر نوعية الحياة. ولكن في حال لم يحدث أيّ تغيير على المستويات الأخرى، سيواصل العالم إطلاق غازات الاحتباس الحراري، وسيزداد التغيُّر المناخي سوءًا، مخلّفًا آثارًا كارثية على حياة البشر.

ولكنّ «التغيُّر على المستويات الأخرى» ليس مستبعدًا لأنني أؤمن بإمكانية تغيُّر الأمور. فنحن نملك بعض الأدوات اللازمة، وباستطاعتنا بفضل كلّ المعارف التي جمعناها عن المناخ والتكنولوجيا أن نبتكر الأدوات الأخرى غير المتوافرة لدينا، ونعمّم استخدامها لتفادي كارثة مناخية، خاصة إذا ما تحرّكنا بسرعة.

يتطرّق هذا الكتاب إلى ما يتطلّبه تحقيق ما ذكرت والسبب الذي يجعلني واثقًا من قدرتنا على ذلك.

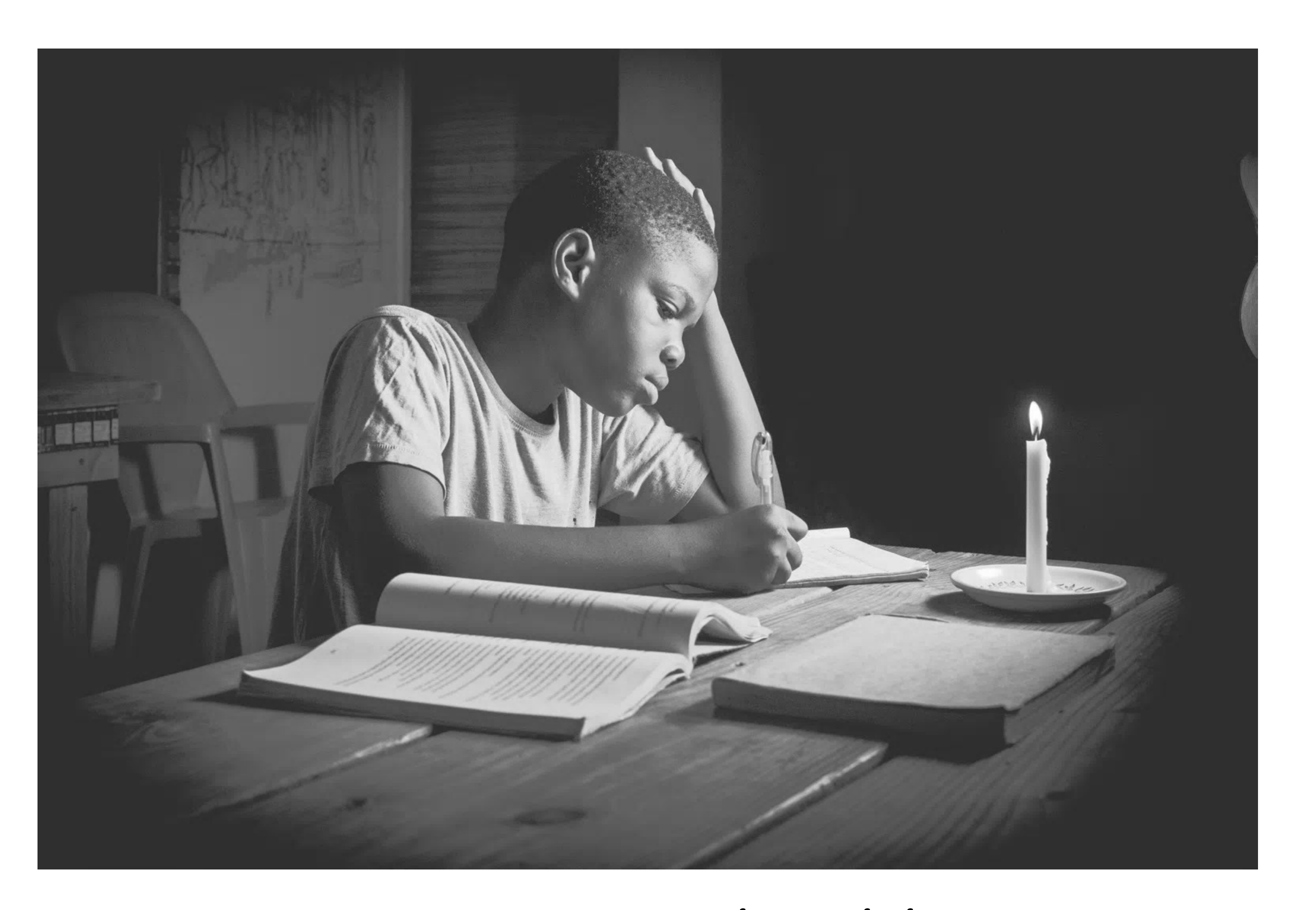
لم يكن من الممكن أن أتصوّر قبل عقدين من الزمن أنني قد أتحدث يومًا في العلن عن التغيُّر المناخي، أو حتى أن أؤلّف كتابًا عن هذا الموضوع. فأنا متخصّص في البرمجيات وليس في علم المناخ، وأعمل حاليًا بدوام كامل مع زوجتي ميليندا في مؤسسة بيل غيتس حيث نركّز بشكل أساسي على الصحة العالمية والنمو والتعليم في الولايات المتحدة.

بدأ تركيزي يميل نحو التغيُّر المناخي بصورة غير مباشرة من خلال اهتمامي بمشكلة الافتقار إلى الطاقة.

ففي بداية الألفية الجديدة، وولادة مؤسّستنا الجديدة، بدأت بالسفر إلى البلدان المنخفضة الدخل ومنها البلدان الأفريقية في جنوب الصحراء الكبرى وفي جنوب آسيا، لأتمكّن من جمع مزيد من المعلومات عن وفيات الأطفال، ومرض نقص المناعة المكتسب، وسواها من المشكلات الكبرى الأخرى التي كنا نعالجها. غير أنّ ذهني تشتّت بعض الشيء وحاد عن مشكلة الأمراض والأوبئة، بينما كنت أتأمّل من نافذة الطائرة المدن الكبرى التي كنت أتنقّل بينها متسائلًا: «*لِمَ الظلمة تخيّم على هذه المدن؟ أين الأضواء التي تعوّدنا رؤيتها في المدن الكبرى مثل نيويورك، باريس أو بكين؟*».

في لاغوس بنيجيريا، كنت أطوف في شوارع تفتقر إلى الإنارة حيث الناس يتجمّعون حول النار التي أشعلوها في براميل النفط القديمة. وفي القرى النائية، قابلنا أنا وميليندا امرأة وبناتها يمضين ساعات طويلة من النهار يجمعن الحطب ليتمكّنّ من الطهي على النار المفتوحة في منزلهنّ. وقابلنا أيضًا أولادًا يُنجزون فروضهم المنزلية على ضوء الشموع لأنّ منازلهم غير مزوّدة بالطاقة الكهربائية.

وعلمتُ أيضًا بأن حوالى المليار شخص لا يملكون إمكانية الوصول الثابت إلى الكهرباء بحيث أنّ حوالى نصفهم يعيش في البلدان الأفريقية جنوب الصحراء الكبرى (تحسّنت الصورة بعض الشيء منذ ذلك الوقت بحيث أنّ عدد الأشخاص الذين لا يملكون حاليًّا إمكانية الحصول على التيار الكهربائي لا يزيد عن 860 مليون شخص).

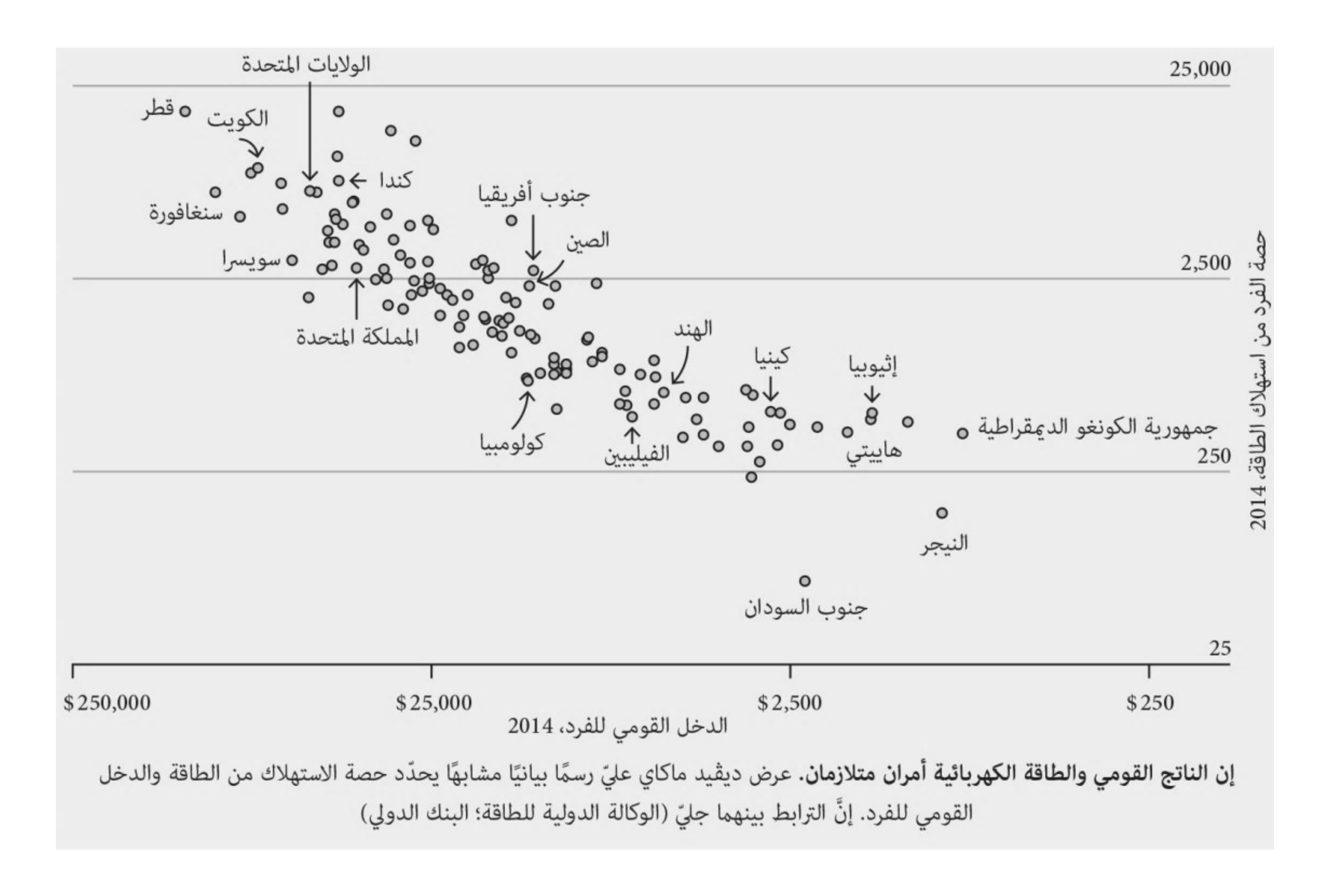


غالبًا ما كنا نقابل، ميليندا وأنا، أولادًا مثل أوفولوب شيناشي البالغ من العمر 9 سنوات، والمقيم في لاغوس بنيجيريا، ينجزون فروضهم المنزلية على ضوء الشموع.

تذكّرت شعار مؤسّستنا المتمحور حول «حق الجميع بحياة صحية ومنتجة»، وأدركت مدى صعوبة أن يحافظ الإنسان على صحته في وقت لا تستطيع فيه العيادة الطبية المحلّية الحفاظ على برودة اللقاحات لأنّ الثلاجات متوقّفة عن العمل. ومن الصعب أيضًا الحفاظ على الإنتاجية في ظل انعدام وسائل الإنارة التي تسهّل عليك القراءة. كما ومن المستحيل بناء اقتصاد يؤمّن للجميع فرص عمل في ظل انعدام إمكانية توفير كميات هائلة من الطاقة الكهربائية بشكل ثابت وميسور التكلفة للمكاتب، والمصانع ومراكز الاتصالات.

في تلك الحقبة، أرسل إلي العالِم الراحل ديڤيد ماكاي، الذي كان أستاذًا في جامعة كامبردج، رسمًا بيانيًا يظهر العلاقة بين الدخل واستخدام

الطاقة، أو الدخل القومي للفرد وكمية الطاقة الكهربائية المستخدمة من السكان. فالرسم البياني الذي يُحدّد الدخل القومي للفرد في بلدان مختلفة على المحور الأوّل ونسبة استهلاك الطاقة على المحور الثاني، أوضح لي بشكل جليّ الترابط بين الاثنين:



إن الناتج القومي والطاقة الكهربائية أمران متلازمان. عرض ديفيد ماكاي عليّ رسمًا بيانيًا مشابهًا يحدّد حصة الاستهلاك من الطاقة والدخل القومي للفرد. إنّ الترابط بينهما جليّ (الوكالة الدولية للطاقة؛ البنك الدولي)

مع انسياب هذه المعلومات وانجلاء الصورة، بدأت أفكّر في السُبُل التي يمكن أن تساعد العالم على توفير طاقة ثابتة وميسورة التكلفة للفقراء. كنت أدرك بأنه ليس من المنطقي أن تضطلع مؤسّستنا بهذه المشكلة الصعبة، لأنه انبغى لنا أن نبقى مركّزين في مهمّتنا الرئيسة؛ إلّا أنني أخذت في مناقشة بعض الأفكار مع عدد من أصدقائي من المخترعين، وانغمست في القراءة عن الموضوع، بما في ذلك كتب كثيرة مثيرة للدهشة للعالِم والمؤرّخ

ڤاكلاف سميل، الذي ساعدني على فهم مدى أهمية الطاقة للحضارات الحديثة.

لم أكن أعلم في ذلك الوقت بأنه ينبغي لنا بلوغ نقطة الصفر. فالدول الثرية المسؤولة عن النسبة الأكبر من الانبعاثات بدأت تولي اهتمامًا كبيرًا للتغيُّر المناخي، وحسبتُ أن ذلك يمكن أن يكون كافيًا، بحيث أنّ مساهمتي ستقتصر على الدعوة لتوفير مصادر طاقة كهربائية ثابتة وميسورة التكلفة للفقراء.

من جهة، هم أكثر المستفيدين منها. فالطاقة الميسورة التكلفة تعني أنّ بإمكانهم تأمين الإنارة اللازمة في الليل فضلًا عن أسمدة بخسة الثمن لحقولهم وإسمنت لمنازلهم. وعلى صعيد التغيُّر المناخي، يعتبر الفقراء الأكثر تضرّرًا منه، لأنّ معظمهم من المزارعين الذين بالكاد يؤمّنون لقمة العيش ولا يمكنهم تحمل مزيد من الفيضانات أو الجفاف.

تغيّرت نظرتي للأمور في أواخر العام 2006 بعد أن التقيت بزميلين سابقين لي من شركة مايكروسوفت يعملان على مشاريع غير ربحية تُعنى بالطاقة والمناخ، وبرفقتهما عالمان في المناخ ضليعان في هذه القضايا، حيث عرض الأربعة علي البيانات التي تظهر الترابط بين غازات الاحتباس الحراري والتغيُّر المناخي.

كنت أعلم بأنّ غازات الاحتباس الحراري تُسهم في ارتفاع درجات الحرارة، ولكنني افترضت بأنّ التغيّرات الدورية أو أيّ عوامل أخرى قد تَحول بشكل طبيعي دون وقوع كارثة مناخية فعلية. وكان من الصعب علي أن أتقبّل واقع أنه في حال استمرار البشر بإطلاق غازات الاحتباس الحراري، ستواصل درجات الحرارة ارتفاعها.

التقيت بالمجموعة في مناسبات عدّة وطرحت عليها أسئلة متابعة كثيرة إلى أن اتّضحت الصورة في نهاية المطاف. يحتاج العالم إلى إنتاج مزيد من الطاقة الكهربائية لتتمكّن البلدان الفقيرة من الازدهار، إلَّا أنه علينا توفير هذه الطاقة من دون إطلاق مزيد من غازات الاحتباس الحراري.

بدت المشكلة في تلك المرحلة أكثر صعوبة: فالمطلوب هو توفير مصدر للطاقة موثوق، ميسور التكلفة ونظيف أيضًا.

دأبتُ على جمع مزيد من المعارف عن التغيُّر المناخي، وقابلتُ خبراء في المناخ والطاقة، والزراعة، والمحيطات، ومنسوب البحار، وخطوط الطاقة وسوى ذلك. كما قرأتُ التقارير الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنيّة بتغيّر المناخ، وهي اللجنة التابعة للأمم المتحدة التي تمكّنت من إرساء الإجماع العلمي حول هذا الموضوع. وشاهدت أيضًا سلسلة مصوّرة عنوانها «Earth's Changing Climate» (مناخ الأرض المتغيّر) التي يتحدّث فيها البروفيسور ريتشارد وولفسون والمتوافرة عبر سلسلة الدورات الكبرى. كما قرأتُ كتاب «Weather for Dummies» الذي يُعدّ من أفضل الكتب التي وجدتها عن الأحوال المناخية.

وتبيّن لي، من بين أمور أخرى، أنّ المصادر الحالية للطاقة المتجدِّدة، والمقصود بها الريح والطاقة الشمسية، يمكن أن تُحدث فرقًا كبيرًا لجهة حلّ المشكلة، ولكننا لا نبذل ما يكفي من الجهد لنشر استعمالها [2].

اتّضح لي أيضًا السبب الذي يَحول دون تمكّنها، بمفردها، من مساعدتنا على بلوغ نقطة الصفر. فالريح لا تهبّ باستمرار والشمس لا تشرق باستمرار، كما لا تتوافر لدينا بطاريات بأسعار مقبولة لتخزين كمية من الطاقة تسدّ

حاجات مدينة بأكملها، لفترة زمنية كافية. ولا يشكّل إنتاج الطاقة الكهربائية سوى 26 % من كافة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وإذا ما افترضنا بأنه من الممكن تحقيق اختراق ضخم على مستوى البطاريات، يبقى علينا أن نتخلّص من نسبة 74 % الباقية.

على مرّ السنين، تعزّزت قناعتي في ثلاثة أمور:

1. لاجتناب الكارثة المناخية، علينا أن نبلغ نقطة الصفر.

2. علينا أن نعمّم استخدام الأدوات المتوافرة لدينا، كالطاقة الشمسية والريح، بشكل أسرع وأكثر ذكاءً.

3. وعلينا أن نخترع اختراقية متقدّمة ونطبّقها، تساعدنا على إكمال الدرب.

كانت الدعوة إلى بلوغ نقطة الصفر، ولا تزال، ثابتة كالصخر: فالمطلوب هو أن نتوقّف عن إنتاج مزيد من غازات الاحتباس الحراري إلى الغلاف الجوي حتى لا ترتفع درجات الحرارة أكثر. إليك تشبيه مفيد جدًا: يشبه المناخ حوض استحمام يمتلئ شيئًا فشيئًا بالمياه. يمكن إبطاء دفق المياه إلى أقصى حدّ ممكن، ولكنّ الحوض سيمتلئ في نهاية المطاف وسينسكب الماء على الأرض. هذه هي الكارثة التي ينبغي لنا أن نجتنبها، بحيث لا يمكن الاكتفاء بأن يكون هدفنا الأساسي هو خفض الانبعاثات بدلًا من القضاء عليها كليًا؛ فالهدف الوحيد المعقول يكون ببلوغ نقطة الصفر. (لمزيد من المعلومات حول نقطة الصفر وما أقصد بها، وتأثير التغيُّر المناخي، راجع الفصل الأوّل).

في الوقت الذي أدركتُ فيه ذلك، لم أكن أبحث عن أيّ قضية جديدة للاضطلاع بها. فقد اخترنا، ميليندا وأنا، الصحة العالمية وتطوير التعليم في

الولايات المتحدة باعتبارهما من المجالات التي تعزّز معارفنا، وتتطلّب منا استخدام فرقًا من الخبراء وإنفاق مواردنا. ولاحظت أيضًا أنّ كثيرًا من الأشخاص البارزين يضيفون التغيُّر المناخي إلى جدول أعمالهم.

وعلى الرغم من تعمّقي في الموضوع، لم أدرجه ضمن الأولويات القصوى. فكلّما سنحت لي الفرصة، قرأتُ الكتب والتقيتُ بالخبراء، حتى أنني استثمرت في إحدى شركات الطاقة النظيفة، وساهمت بمئات الملايين في شركة ناشئة لتصميم محطة نووية من الجيل الثاني قابلة لتوليد طاقة نظيفة لا تخلّف سوى مقدار قليل جدًا من النفايات النووية، كما وشاركت في أحد مؤتمرات تيد (TED) المعنون «الابتكار حتى الصفر!». ومع ذلك كلّه، بقي اهتمامي منصبًا بشكل أساسي على أعمال مؤسسة غيتس.

وفي ربيع العام 2015، وجدت أنني في حاجة إلى اتّخاذ مزيد من الخطوات والتحدّث أكثر علنًا. كنت قد شاهدت تقارير إعلامية عن طلاب من الولايات المتحدة ينظّمون اعتصامات مطالبين المدارس بوقف الاستثمار في الوقود الأحفوري. وأطلقت صحيفة الغارديان البريطانية في إطار هذا التحرّك، حملة تطالب فيها مؤسّستنا ببيع حصّتها البسيطة المستثمرة في شركات الوقود الأحفوري، حيث أصدرت شريطًا مصورًا لأشخاص من مختلف أنحاء العالم يطالبونني فيه بسحب الاستثمار.

أدركتُ السبب الذي حضّ صحيفة الغارديان على أن تخصّني والمؤسسة بالذكر بشكل حصري. كنت شديد الإعجاب بحماسة الناشطين: فقد رأيت الطلاب يحتجّون ضد الحرب في فييتنام، ومن ثمّ ضد نظام التفرقة

العنصرية في جنوب أفريقيا، وكنت واثقًا من أنهم تمكنوا من إحداث فرق. فرؤية هذا النوع من الطاقة موجهًا نحو التغيُّر المناخي كانت ملهمة فعلًا.

من ناحية أخرى، لم يفارق ذهني ما رأيته خلال أسفاري. ففي الهند مثلًا، حيث يبلغ عدد السكان 1.4 مليار نسمة، يُعتَبر كثيرون منهم من بين أفقر الناس في العالم، لم أكن أتصوّر أنه من العدل أن يقول أحدٌ للهنود إنه لا يمكن لأطفالكم الحصول على الإنارة ليتمكّنوا من الدرس، أو إنه ينبغي على آلاف الهنود أن يلقوا مصرعهم بسبب موجات الحرّ لأن تركيب المكيّفات مضرّ بالبيئة. لذا، يبقى الحل الوحيد في توليد طاقة نظيفة وبخسة الثمن لتمكين كلّ البلدان من استخدامها عوضًا عن الوقود الأحفوري.

على الرغم من إعجابي الشديد بحماسة المحتجّين، لم أتمكّن من تحديد الجدوى من سحب استثماري في وقف التغيُّر المناخي أو مساعدة الناس في البلدان الفقيرة. فالانسحاب من الشركات لمكافحة نظام الفصل العنصري، وهو نظام سياسي من شأنه (كما حصل في السابق) الاستجابة للضغط الاقتصادي، يختلف كليًا عن بيع الأسهم في شركات الوقود الأحفوري لتغيير نظام الطاقة في العالم، الذي يُعدّ من الصناعات التي تحقّق 5 تريليون دولار سنويًا وتشكّل أساس الاقتصاد الحديث.

صحيح أنّ إحساسي لم يتغيّر حتى اليوم، إلّا أنني أدركت وجود أسباب أخرى تمنعني من امتلاك أسهم في شركات الوقود الأحفوري، وأعني بذلك أنني لا أريد تحقيق أرباح من ارتفاع أسهمها لأننا لا نعمل على تطوير بدائل خالية من الكربون. ومن المؤكّد أنني سأشعر بالسوء في حال تحقيق منفعة من التأخير في بلوغ نقطة الصفر. لهذا السبب، قمت في العام 2019 بسحب استثماراتي المباشرة كافة في شركات النفط والغاز، وكذلك فعل الصندوق

الذي يتولّى إدارة ممتلكات مؤسسة غيتس. (لم أكن قد استثمرت أيّ أموال في شركات الفحم منذ سنوات طويلة).

إنّ قرار الانسحاب هو خيار شخصي وأعتبر نفسي محظوظًا لأنني تمكّنت من القيام به، مع أنني أعي كلّ الوعي بأنه لن يترك أيّ تأثير فعلي على خفض الانبعاثات. فبلوغ الصفر يتطلّب مقاربة أوسع نطاقًا: إحداث تغيير شامل عبر استخدام كافة الأدوات المتوافرة، بما في ذلك السياسات الحكومية، التكنولوجيا الحالية، الاختراعات الجديدة، وقدرة الأسواق الخاصة على تسليم المنتجات لأعداد هائلة من الناس.

في وقت لاحق من العام 2015، وجدت فرصة لإقامة الحجة لتعزيز الابتكارات والاستثمارات الجديدة: إنه مؤتمر الأمم المتحدة الواحد والعشرون للتغيُّر المناخي (COP 21)، المؤتمر الرئيس المعني بتغيُّر المناخ، الذي كانت تنوي الأمم المتحدة عقده في باريس في شهري تشرين الثاني/نوفمبر وكانون الأوّل/ديسمبر من تلك السنة. فقبل بضعة أشهر من انعقاد المؤتمر، التقيت بفرانسوا هولاند، الرئيس الفرنسي الأسبق، الذي أبدى اهتمامًا بدعوة المستثمرين من القطاع الخاص للمشاركة في المؤتمر، فيما أبديت بدوري اهتمامًا في إدخال شيء من الابتكار على جدول الأعمال. فوجدنا في ذلك المؤتمر فرصة لتحقيق ما يسعى إليه كلٌ منا: من جانبه، اعتبر الرئيس بأنني قادر على المساعدة على حثّ المستثمرين على المشاركة، فأجبت بأن كلامه منطقي، مع أنه قد يكون من الأسهل القيام بذلك إذا ما التزمت الحكومات أيضًا إنفاق مزيد من الأموال على البحوث الخاصة بالطاقة.

لم يكن من السهل تأمين الدعم اللازم لذلك الطرح. فنسبة الاستثمار الأميركي في البحوث الخاصة بالطاقة كانت (وما تزال) أدنى بكثير مما هي عليه في المجالات الأخرى الأساسية، كالصحة والدفاع. وفي حين أنّ بعض البلدان توسِّع نطاق جهودها البحثية المتواضعة، ما تزال المستويات متدنية، كما وأنها لا تظهر حماسة لبذل مزيد من الجهود في ظل انعدام أيّ ضمانات على توافر الأموال اللازمة من القطاع الخاص لإخراج أفكارها من المختبر وتحويلها إلى منتجات مفيدة للناس. ولكن مع حلول العام 2015، نضب التمويل من القطاع الخاص، بحيث أخذت شركات رأس المال الاستثماري التي استثمرت أموالها في التكنولوجيا الخضراء بالانسحاب من القطاع بعد أن تراجعت العائدات تراجعًا لافتًا. فقد تعوّدت الاستثمار في التكنولوجيا الأحيائية وتكنولوجيا المعلومات حيث يمكن تحقيق نجاح سريع وحيث تقلّ الأنظمة الحكومية التي ينبغي لها التعامل معها. أما لعبة الطاقة النظيفة، فمختلفة تمامًا، ولم تجد بدًا من الخروج منها.

من الواضح أننا في حاجة إلى تأمين مصادر تمويل جديدة ومقاربة مختلفة تتوافق جيدًا مع الطاقة النظيفة. في شهر أيلول/سبتمبر، أيّ قبل شهرين من انعقاد المؤتمر في باريس، وجّهت رسائل إلكترونية إلى مجموعة كبيرة من المعارف الأثرياء، آملًا في أن أتمكّن من إقناعهم بالتزام تمويل المشروع إلى جانب الأموال الجديدة التي وفّرتها الحكومة للبحوث. إذ ينبغي أن تكون استثماراتهم طويلة الأمد، لاسيّما وأنّ تطوير الاختراقات الخاصة بالطاقة يحتاج إلى عدّة عقود، كما وعليهم أن يتحمّلوا مخاطر كثيرة. ولتفادي الحُفَر التي وقع أصحاب رأس المال الاستثماري فيها، تعهّدت بالمساعدة على بناء فريق من الخبراء يركّز في تدريب الشركات ومساعدتها على تخطّي

تعقيدات قطاع الطاقة. وسررت كثيرًا بالردود التي وصلتني: فالمستثمر الأوّل وافق في غضون أربع ساعات، ومع انطلاق مؤتمر باريس بعد مرور شهرين، كان قد بلغ عدد المستثمرين الذين انضموا إليه 26 مستثمرًا، وأطلقنا على تحالفنا اسم «بريكثرو إينيرجي» (Breakthrough Energy). تشمل المؤسسة حاليًا، المعروفة اليوم باسم «بريكثرو إينيرجي» برامج خيرية، جهودًا مبذولة في مجال الدعوة، وتمويلات من القطاع الخاص مستثمرة في أكثر من 85 شركة ذات أفكار واعدة.

وحقّقت الحكومات أيضًا إنجازًا تمثّل في اللقاء الذي جمع عشرين رئيس دولة في باريس وتعهّدهم بمضاعفة تمويلهم للبحوث، وذلك بفضل مساعي الرئيس الفرنسي هولاند، والرئيس الأميركي باراك أوباما، ورئيس الوزراء الهندي ناريندرا مودي، الذي اقترح تسمية هذه المبادرة «Mission Innovation» (مهمة ابتكار). نجحت المهمّة التي تضمّ حاليًا 24 دولة إلى جانب المفوضية الأوروبية، في جمع 4.6 مليار دولار أميركي سنويًا للبحوث الخاصة بالطاقة النظيفة، ما يمثّل زيادة بنسبة تفوق 50 % في بضع سنوات فقط.



إطلاق «Mission Innovation» مع قادة العالم خلال مؤتمر الأمم المتحدة للتغيُّر المناخي 2015 الذي عُقد في باريس

(راجع الصفحة 259 للحصول على أسماء الأشخاص في الصورة).

ولا شكّ في أنّ نقطة التحوّل الثانية في هذه القصة مألوفة ولسوء الحظ، لدى كلّ من يقرأ هذا الكتاب.

ففي العام 2020، حلّت كارثة على العالم مع انتشار فيروس كورونا المستجد. فمن كان ضليعًا بتاريخ الجائحات، لن يشكّل الخراب الذي تسبّب به كوفيد-19 مفاجأة له. دأبتُ، من جهتي على دراسة تفشّي الأمراض لسنوات طويلة كجزء من اهتمامي بالصحة العالمية، وكنت قلقًا للغاية لأنّ العالم لم يكن مستعدًا للتعامل مع أيّ جائحة جديدة مثل الإنفلونزا التي انتشرت في العام 1918 وتسبّبت بوفاة عشرات الملايين من الناس. في العام 2015، شاركتُ في أحد مؤتمرات تيد (TED) وعدد من المقابلات حيث أشرتُ إلى الحاجة إلى إنشاء نظام للكشف عن تفشّي الأمراض الكبرى والاستجابة لها. كما قدّم أشخاص آخرون ومنهم الرئيس الأميركي الأسبق جورج دبليو بوش، طروحات مماثلة.

لسوء الحظ، لم يبذل العالم جهودًا كثيرة للاستعداد لكوارث مشابهة، ومع ظهور فيروس كورونا المستجد، وقعت خسائر بشرية كبيرة وتداعيات اقتصادية لم نشهد لها مثيلًا منذ الكساد الكبير. وعلى الرغم من تركيز الجزء الأكبر من أعمالي على التغيُّر المناخي، قرّرتُ وميليندا أن نضع جائحة كوفيد-19 في أعلى سلّم أولويات مؤسسة غيتس ومحور الأعمال التي نقوم بها. فكنت أتحدّث بصورة يومية مع العلماء في الجامعات والشركات الصغيرة، والمدراء التنفيذيين في شركات المستحضرات الصيدلانية، أو رؤساء الحكومات لإيجاد السبل المناسبة لتمكين المؤسسة من المساعدة على تسريع العمل على الاختبارات والعلاجات واللقاحات. بحلول شهر تشرين الثاني/نوفمبر 2020، بلغ حجم الهبة التي قدّمناها لمكافحة الفيروس 445

مليون دولار أميركي، إضافة إلى مئات الملايين الأخرى المستثمرة لتوفير اللقاحات، والاختبارات، وغيرها من المنتجات الأساسية للدول المنخفضة الدخل بشكل أسرع.

وفي ظلّ تباطؤ النشاط الاقتصادي، فإن الانبعاثات التي أطلقها العالم من غازات الاحتباس الحراري في العام 2020 كانت أقل من انبعاثات العام 2019. كما ذكرت آنفًا، أيّ بحوالى 4.5 % أقل. ما يعني أننا أطلقنا حوالى 50 مليار طن بدلًا من 52 مليارًا.

إنه تراجع لافت، ولا ريب أننا سنكون في أفضل حال إذا ما استمرّت هذه النسبة بالانخفاض سنويًا. غير أنّ ذلك مستحيل لسوء الحظ.

فإذا ما فكّرنا مليًا في الثمن الذي تكبّده العالم لتحقيق تراجع بمعدل 4.5 %، سنجد أنّ تكلفة هذا التراجع تمثّلت في وفاة مليون شخص وخسارة عشرات الملايين وظائفهم. علينا أن نكون واقعيين ونعترف بأنّ لا أحد منا رغب في استمرار هذه الكارثة. ومع ذلك، تراجعت نسبة انبعاثات العالم من غازات الاحتباس الحراري بمعدل أقل من 5 % أو ربما أقل. واللافت بالنسبة إليّ هو ليس معدل تراجع الانبعاثات بسبب الجائحة، بل تدني هذا المعدل.

يُعتبر هذا التراجع الطفيف في الانبعاثات خير دليل على أننا لا نستطيع بلوغ نقطة الصفر بسهولة أو بشكل أساسي عبر خفض نسبة التنقّل بالطائرات أو وسائل النقل البري. فنحن في حاجة إلى اختبارات وعلاجات ولقاحات جديدة لفيروس كورونا المستجد، كما وأننا في حاجة إلى أدوات جديدة لمكافحة التغيُّر المناخي: أساليب خالية من الكربون لإنتاج الطاقة الكهربائية، وتسهيل الاختراعات، وزراعة المحاصيل الغذائية، والحفاظ على تبريد مبانينا وتدفئتها، وتسهيل تنقّل الأشخاص ونقل السلع حول العالم. كما

وأننا نحتاج إلى بذور وابتكارات أخرى جديدة لمساعدة الأشخاص الأكثر فقرًا في العالم، ومعظمهم من صغار المزارعين، على التأقلم مع مناخ أدفأ.

صحيح أنّ ثمة عراقيل أخرى، إلَّا أنها لا ترتبط بالعلوم أو التمويل. ففي الولايات المتحدة بشكل خاص، انحرف النقاش حول التغيُّر المناخي عن غايته بسبب الأمور السياسية، بحيث يبدو لي في بعض الأوقات وكأنّ الأمل في تحقيق أيّ إنجاز على هذا الصعيد ضئيل جدًا.

ومع أنّ طريقتي في التفكير هي أقرب إلى طريقة تفكير المهندس منها إلى العالِم السياسي، لم أتمكّن بعد من إيجاد حلّ لسياسات التغيُّر المناخي. وآمل في المقابل تركيز النقاش حول متطلّبات بلوغ نقطة الصفر: علينا أن نوجّه حماسة العالم ومعدل الذكاء العلمي نحو نشر حلول الطاقة النظيفة المتوافرة حاليًا، وابتكار حلول جديدة، لنتوقّف بالتالي عن إطلاق غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي.

أدركُ تمامًا أنني لست المبعوث المثالي لمناقشة التغيُّر المناخي. فالعالم لا يفتقر إلى رجال أثرياء من أصحاب الأفكار العظيمة التي تملي على الناس ما عليهم فعله، أو يحسبون أنّ التكنولوجيا قادرة على حل أيّ مشكلة. وأنا أملك منازل فخمة وأسافر بطائرة خاصة، حتى أنني استقللت طائرة خاصة للسفر إلى باريس والمشاركة في المؤتمر المعني بالمناخ، ولكن من أنا لأحاضر عن البيئة؟

أقرّ بأنني مذنب في التهم الثلاث.

لا يسعني أن أنكر أنني رجل ثري وصاحب رأي. ولكنني أؤمن بأن رأيي صائب وأسعى دائمًا لتعلّم المزيد.

أعترف أيضًا بأنني محبّ للتكنولوجيا: يكفي أن تعرض عليّ المشكلة وسأعمل على حلّها بالوسائل التكنولوجية. وفي ما يتعلّق بالتغيُّر المناخي، أدرك تمامًا أننا نحتاج إلى أكثر من الابتكار. إلَّا أننا لا نستطيع الحفاظ على الأرض صالحة للسكن من دونه. ما يعني أنّ الإصلاحات التقنية ليست كافية، ولكنها ضرورية.

أعترف أخيرًا بأنّ بَصْمتي الكربونية مرتفعة إلى حدّ سخيف، ما عزّز لدي الإحساس بالذنب لفترة زمنية طويلة. كنت مدركًا لحجم الانبعاثات التي أتسبّب بها، ولكن في خلال إعداد هذا الكتاب، ازددتُ وعيًا بالمسؤولية الواقعة على عاتقي للتخفيف من تلك الانبعاثات. فتقليص البصمة الكربونية يمثّل الحد الأدنى المتوقّع من شخص في مثل موقعي قلق بشأن التغيُّر المناخي ويطالب علنًا باتخاذ الإجراءات اللازمة.

في العام 2020، بدأت بشراء وقود الطيران المستدام وأتوقّع أن أعوض عن الانبعاثات المترتّبة عن طائرات أسرتي بشكل كامل في العام 2021. في ما يتعلّق بالانبعاثات غير المترتّبة عن الطيران، سأشتري تعويضات من شركة تدير مرفق يعمل على إزالة ثاني أكسيد الكربون من الجو (يمكن الاطّلاع على مزيد من المعلومات حول هذه التقنية المعروفة بالاستخلاص المباشر من الهواء في الفصل الرابع المعنون «الوصل بالقابس»). كما وأدعم مؤسسة غير ربحية تعمل على إدخال تحديثات على الطاقة النظيفة في وحدات سكنية ميسورة التكلفة في شيكاغو. وسأستمر في البحث عن وسائل أخرى للتخفيف من بصمتي الكربونية الشخصية.

وبدأت بالاستثمار في التقنيات الخالية من الكربون التي أعتبرها وسيلة أخرى من وسائل التعويض عن الانبعاثات التي أتسبّب بها. فقد استثمرت أكثر

من مليار دولار في مقاربات من شأنها أن تساعد العالم على بلوغ نقطة الصفر، بما في ذلك الطاقة النظيفة الميسورة التكلفة والموثوقة والإسمنت، والفولاذ، واللحوم، المنخفضة الانبعاثات، وسوى ذلك. ولا علم لي بأي جهة أخرى تستثمر بشكل أكبر في تقنيات الاستخلاص المباشر من الهواء.

لا شك في أنّ الاستثمار في الشركات لا يعني تقليص حجم بصمتي الكربونية. ولكن إذا ما اخترت أيًا من الناجحين على الإطلاق، سيتحمّلون حتمًا مسؤولية إزالة كمية من الكربون أكبر من تلك التي نتحمّل أسرتي وأنا مسؤوليتها. كما وأنّ الهدف لا يتمثّل في أن يعوّض كلّ فرد عن انبعاثاته، بل في اجتناب الكارثة المناخية. لذا، أدعم البحوث في مجال الطاقة النظيفة في مراحلها المبكرة، واستثمر في شركات الطاقة النظيفة الواعدة، وأطالب بسياسات تُسهم في تحقيق الاختراقات حول العالم، كما أشجّع الأشخاص الآخرين من أصحاب الموارد على أن يحذوا حذوي.

هذه هي الفكرة الرئيسة: في حين ينبغي على الجهات المسبِّبة لنسبة ضخمة من الانبعاثات مثلي خفض استخدامها للطاقة، على العالم برمته مضاعفة استخدامه للسلع والخدمات التي توفرها الطاقة. فلا شيء يمنع من مضاعفة استخدام الطاقة طالما أنها خالية من الكربون. يتطلّب التصدي للتغيُّر المناخي توفير طاقة نظيفة موثوقة وبخسة الثمن تمامًا مثل تلك التي يوفّرها الوقود الأحفوري. فأنا أبذل جهدًا كبيرًا في ما أعتقد بأنه سيقودنا إلى تلك النقطة ويحقّق الفرق المطلوب لجهة خفض الانبعاثات من 52 مليار طن سنويًا إلى صفر.

يطرح هذا الكتاب سُبُل المضي قدمًا، وسلسلة من الخطوات التي بوسعنا اتخاذها لاستغلال الفرصة المتاحة لنا لاجتناب كارثة مناخية. فهو مقسّم

إلى خمسة أقسام:

لماذا نقطة الصفر؟ في الفصل الأوّل، سأشرح بشكل مفصّل الأسباب الموجبة لبلوغ نقطة الصفر، بما في ذلك ما نعرفه (وما لا نعرفه) عن التأثير الذي سيخلّفه ارتفاع درجات الحرارة على الناس في مختلف أنحاء العالم.

الأخبار السيئة: الرحلة نحو نقطة الصفر ستكون شاقة. سنخصّص في الفصل الثاني بعض الوقت لإعادة النظر في التحديات التي سنواجهها، لاسيّما وأنّ تحقيق الخطط المطلوبة يبدأ بتقييمٍ واقعي للحواجز التي تعترض طريقك.

التحاور القائم على حسن الاطّلاع في موضوع التغيُّر المناخي. سأتطرّق في الفصل الثالث إلى بعض الإحصائيات الملتبسة التي بلغت مسامع الناس وأستعرض مجموعة من الأسئلة أحتفظ بها في ذهني بعد كلّ حوار أجريه عن التغيُّر المناخي. فهذه الأسئلة ساعدتني على تفادي الوقوع في الخطأ أكثر من مرّة، وآمل أن تكون مجدية للجميع.

الأخبار الجيدة: بوسعنا تحقيق ذلك. في الفصول الرابع إلى التاسع، سأبحث في المجالات حيث يمكن للتكنولوجيا الحديثة أن تفي بالغرض والمجالات حيث نحتاج إلى اختراقات جديدة. إنه الجزء الأكبر من الكتاب لأنّ الموضوعات التي يغطّيها كثيرة. تتوافر لدينا بعض الحلول التي علينا نشرها على نطاق واسع، كما نحتاج إلى تطوير كثير من الابتكارات ونشرها في كافة أرجاء العالم في خلال العقود القليلة المقبلة.

في حين أنني سأحرص على تقديم بعض التكنولوجيات التي تثير حماستي بشكل خاص، لن أخوض مطلقًا غمار تسمية شركات معينة. ربما لأنني أستثمر في بعض منها، ولا أريد أن يبدو الأمر وكأنني أفضّل الشركات التي أملك فيها مصالح مالية. ولكن الأهم من ذلك كله، هو أنني أريد تصويب التركيز على الأفكار والابتكارات، وليس على مشاريع تجارية محدّدة. من الممكن مثلًا أن تغلق بعض الشركات أبوابها في السنوات المقبلة، ولكن ذلك لا يدلّ على الفشل، بل يمكن أن يكون مرتبطًا بالمجال الذي تجري فيه الأعمال الرئيسة. المهم هي الدروس المستقاة من الفشل واستخدامها في المشاريع اللاحقة، تمامًا كما فعلنا في مايكروسوفت وتمامًا كما يفعل كلّ المبتكرين الآخرين الذين أعرفهم.

الخطوات التي بوسعنا اتّخاذها حاليًا: قمت بتأليف هذا الكتاب ليس لأنني كنت مدركًا لمشكلة التغيُّر المناخي فحسب، بل لأنني أدركت أيضًا أن الفرصة متاحة لمعالجتها. وتفاؤلي ليس سرابًا، لأننا نملك حاليًا اثنين من العناصر الثلاثة التي نحتاج إليها لتنفيذ أيّ مشروع رئيس. فنحن نملك أولًا الطموح بفضل حماسة الحركة الشاملة المتنامية التي تقودها مجموعة من الشبان القلقين إزاء التغيُّر المناخي. كما نملك أهدافًا كبيرة لحل المشكلة لاسيّما وأن المزيد من القادة الوطنيين والمحلّيين في مناطق مختلفة من العالم قد التزموا تأدية الدور المطلوب منهم.

نحن اليوم في حاجة إلى العنصر الثالث: خطة عملية لتحقيق أهدافنا.

فكما أنّ الدافع وراء طموحاتنا ينبثق من تقديرنا لعلم المناخ، كان الدافع وراء أيّ خطة عملية لخفض الانبعاثات منبثقًا من مجالات أخرى كالفيزياء والكيمياء والأحياء والهندسة والعلوم السياسية والاقتصاد والشؤون

المالية وسوى ذلك. ففي الفصول الأخيرة من هذا الكتاب، سأقترح خطة مرتكزة على ما تلقّيته من إرشاد من الخبراء في هذه المجالات كلها. وسأركّز في الفصلين العاشر والحادي عشر على السياسات التي بإمكان الحكومات اعتمادها، بينما سأقترح في الفصل الثاني عشر الخطوات التي بإمكان كلٍ منا القيام بها لمساعدة العالم على بلوغ نقطة الصفر. فسواء كنت مسؤولًا حكوميًا، أو مقاولًا، أو ناخبًا وحياتك مثقلة بالعمل بحيث لا تنعم بكثير من أوقات الفراغ (أو كلّ ما سبق)، إليك بعض الأمور التي بإمكانك القيام بها للمساعدة على اجتناب الكارثة المناخية.

حسنًا، فلننطلق.

الفصل الأوّل

لماذا نقطة الصفر؟

إنّ السبب الكامن وراء هذه الحاجة المُلِحّة إلى بلوغ نقطة الصفر بسيط جدًا: فغازات الاحتباس الحراري تحبس الحرارة، وتتسبّب في ارتفاعٍ في متوسّط درجات حرارة سطح الأرض. وكلّما زادت نسبة الغازات، ارتفعت درجات الحرارة. ومع بلوغ غازات الاحتباس الحراري الغلاف الجوي، تبقى فيه لفترات زمنية طويلة، بحيث أنّ حوالى خمس ثاني أكسيد الكربون المنبعث اليوم، سيبقى في الغلاف الجوي للسنوات العشرة آلاف المقبلة.

ولا يتوافر أيّ سيناريو حيث يمكن الاستمرار في إضافة ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي من دون أن تزداد درجات الحرارة ارتفاعًا، ومع تحوّل العالم إلى مكان شديد الحرّ، سيتعذّر على البشر البقاء، ناهيك بالنمو. ولا يمكن تحديد حجم الضرر الذي يمكن أن يتسبّب به الارتفاع في درجات الحرارة، ولكن ثمة أسبابًا تدعو للقلق. وبالنظر إلى أنّ غازات الاحتباس الحراري تبقى في الغلاف الجوي لفترة طويلة جدًا، ستبقى درجات الحرارة

في الكرة الأرضية مرتفعة جدًا لفترة زمنية طويلة حتى بعد بلوغنا نقطة الصفر.

من المسلّم به باعتراف الجميع أنني أستخدم «الصفر» بشكل غير دقيق، وعليّ أن أكون أكثر وضوحًا لجهة ما أعنيه. في الأزمنة السابقة للعصر الصناعي، أيّ قبل أواسط القرن الثامن عشر تقريبًا، كانت دورة الكربون في الغلاف الجوي للأرض متوازنة: فالنباتات وسواها كانت تمتصّ كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة كلها.

ولكن، سرعان ما انبثقت ظاهرة حرق الوقود الأحفوري المصنوع من الكربون، والمخزّن في جوف الأرض نتيجة فناء النباتات لدهورٍ خلت، وضغطها على مرّ ملايين السنوات لتتحوّل إلى نفط، فحم أو غاز طبيعي. عند حفر بؤر الوقود وإحراقها، تنبعث كميات إضافية من الكربون وتضاف إلى الحجم الإجمالي في الغلاف الجوي.

لا تتوافر أيّ مسارات منطقية لبلوغ نقطة الصفر تقضي بالتخلّي عن الوقود بشكل كلي أو وقف الأنشطة التي من شأنها توليد غازات الاحتباس الحراري (كصناعة الإسمنت، استخدام الأسمدة أو السماح بتسرّب الميثان من محطات توليد الغاز الطبيعي). ومن المتوقّع أن نستمرّ في المستقبل الخالي من الكربون، وفق كلّ التقديرات، بتوليد بعض الانبعاثات، ولكننا سنجد سُبلًا للتخلّص من الكربون المنبعث.

بعبارة أخرى، لا يعني «بلوغ نقطة الصفر» الصفر بشكل حرفي، بل يعني «الصافي الصفري تقريبًا». فالأمر لا يتعلّق باختبارٍ للنجاح والرسوب حيث يبدو كلّ شيء على خير ما يرام إذا ما نجحنا في تحقيق انخفاض بنسبة 100 %

ويتحوّل الوضع إلى كارثي إذا ما بلغت نسبة الانخفاض 99 % فقط. فكلّما زادت نسبة الانخفاض، زادت الفائدة.

صحيح أنّ خفض الانبعاثات بنسبة 50 % لن يساعد على وقف الارتفاع في درجات الحرارة، ولكن من شأنه أن يُبطئ سير الأمور بعض الشيء، وتأجيل الكارثة المناخية نوعًا ما وليس منعها.

ولنفترض أننا نجحنا في تحقيق انخفاض بنسبة 99 %، من هي البلدان أو القطاعات الاقتصادية التي ستستخدم الواحد في المئة المتبقّي؟ كيف يمكن اتخاذ القرار في هذا الشأن؟

إنّ اجتناب أسوأ السيناريوهات المناخية يتطلّب منا، في مرحلة معينة، التوقّف عن إضافة مزيد من الغازات والبدء أيضًا بإزالة بعض الغازات المنبعثة في مرحلة سابقة. من الممكن أن يُشار إلى هذه الخطوة «بصافي الانبعاثات السلبية»، ما يعني أنه ينبغي في نهاية المطاف، أن تتخطّى نسبة غازات الاحتباس الحراري الواجب سحبها من الغلاف الجوي تلك التي نطلقها فيه لنتمكّن بالتالي من الحدّ من ارتفاع درجات الحرارة. وبالعودة إلى الصورة التشبيهية لحوض الاستحمام التي استعرتها آنفًا، لا يمكن الاكتفاء بوقف تدفّق المياه في الحوض فحسب، بل علينا أيضًا أن نفتح البالوعة لتصريف المياه.

أعتقد أنّه سبق لك أن قرأت عن المعلومات الواردة في هذا الفصل بشأن مخاطر الفشل في بلوغ نقطة الصفر. فوسائل الإعلام تتناول مشكلة التغيُّر المناخي بشكل يومي لأنها تعتبر من المشكلات الطارئة التي تستحق أن تحتلّ الصدارة. غير أنّ التغطية قد تكون في بعض الأحيان مربكة إلى حدّ التباين.

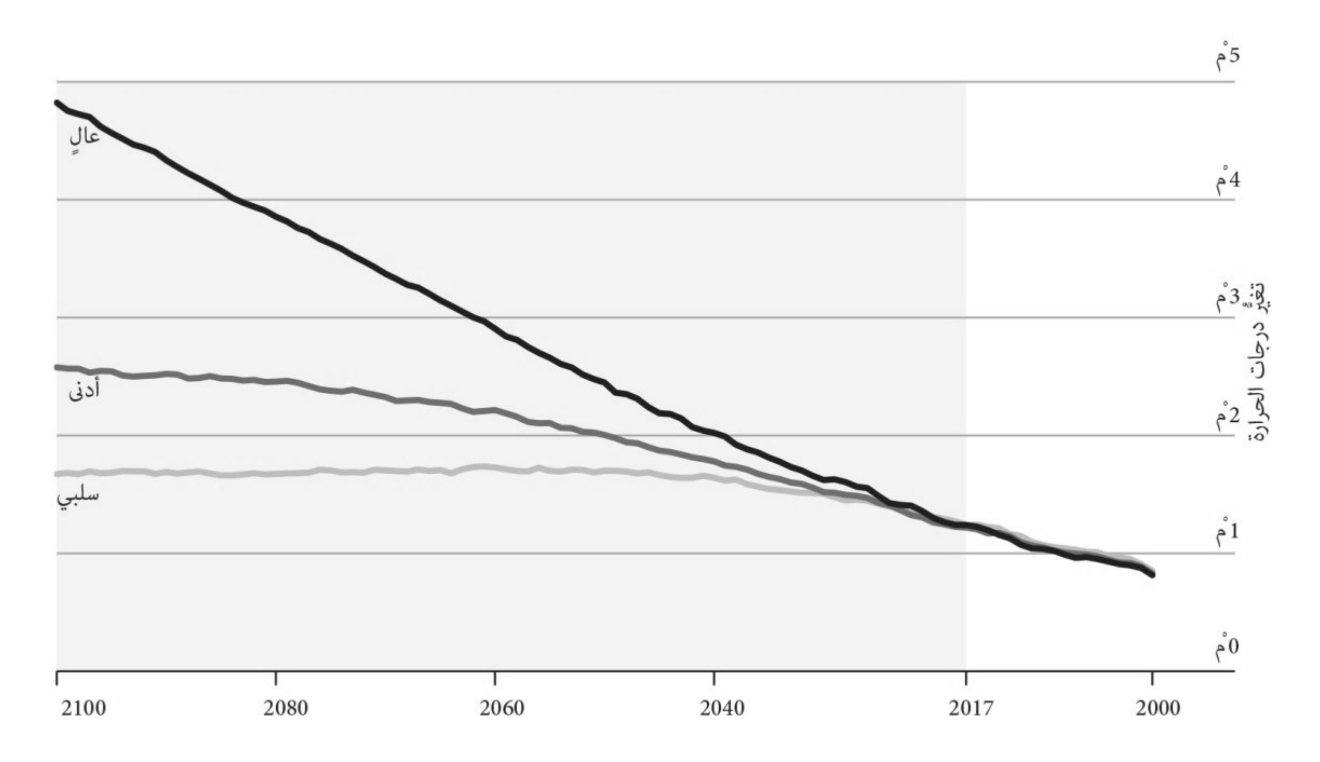
سأحاول من خلال هذا الكتاب تخطّي الضوضاء والأصوات المتعالية، لاسيّما وأنني تمكّنت، على مر السنوات، من اكتساب المعارف من أبرز العلماء في العالم المتخصّصين في المناخ والطاقة. فهذا الحوار لا يعرف نهاية لأنّ مفاهيم الباحثين حول المناخ تشهد تقدمًا متواصلًا بفضل البيانات الجديدة المضافة وتحسين أنظمة الحوسبة التي يستخدمونها لتوقع سيناريوهات مختلفة. غير أنني وجدت أيضًا في عملية فرز ما هو محتمل عن ما هو ممكن ولكن غير محتمل فائدة هائلة، بحيث أنها رسّخت اقتناعي بأنّ السبيل الوحيد لتفادي النتائج الكارثية يكمن في بلوغ نقطة الصفر. وسأعرض عليكم في هذا الفصل بعض ما تعلّمته.

القليل كثير

فوجئت كثيرًا عندما أدركت بأنّ الارتفاع البسيط في درجات الحرارة العالمية، بمعدّل درجة مئوية إلى درجتين أو ما يعادل 1.8 درجات إلى 3.6 على مقياس فهرنهايت، يمكن أن يتسبَّب في هذا القدر من المشكلات [3]. ولكنّ ذلك صحيح: فمن منطلق التغيُّر المناخي، يعتبر التغيير البسيط في درجات الحرارة مشكلة كبيرة. فخلال العصر الجليدي، كان معدل درجات الحرارة أقل بست درجات مئوية مما هو عليه اليوم. وخلال عصر الديناصورات، حيث كان معدل درجات الحرارة أعلى بأربع درجات مئوية مما هو عليه اليوم، كانت التماسيح تعيش على سطح الدائرة القطبية الشمالية.

من المهم ألا ننسى أن هذه الأرقام المتوسطة من شأنها أن تحجب حيزًا كبيرًا من درجات الحرارة. فعلى الرغم من أنّ المتوسط العالمي قد ارتفع بمعدل درجة مئوية واحدة مقارنة بالأزمنة السابقة للعصر الصناعي،

بدأت بعض المناطق، التي تأوي من 20 % إلى 40 % من سكان العالم تشهد ارتفاعًا في درجات الحرارة يزيد عن درجتين مئويتين.



الخطوط الثلاثة التي عليك معرفتها. تظهر هذه الخطوط الحدّ الذي يمكن أن تبلغه درجات الحرارة في المستقبل في حال زيادة نسبة الانبعاثات إلى حد كبير (الخط العالي)، أو بنسبة أقل (أدنى) أو في حال بدأنا بإزالة الكربون المنبعث (سلبي). (المعهد الملكي الهولندي للأرصاد الجوية لخدمة التنبؤ بالطقس)

لماذا تشتدّ درجات الحرارة في بعض المناطق أكثر من سواها؟ ففي المناطق الداخلية لبعض القارات، ازدادت التربة جفافًا بحيث لم يعد بإمكان الأرض أن تبرد بقدر ما كانت تفعل في السابق. كما وأنّ القارات لم تعد في الأساس ترتشح كما في الماضي.

ما العلاقة إذًا بين احترار الكوكب وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري؟ فلنبدأ بالعوامل الأساسية. يعتبر ثاني أكسيد الكربون من غازات الاحتباس الحراري الأكثر شيوعًا، يضاف إليه بعض الغازات الأخرى كأكسيد النيتروجين والميثان. من الممكن أن تكون قد استمتعت بأكسيد النيتروجين، المعروف

بغاز الضحك، في عيادة طبيب الأسنان، فيما يشكّل الميثان المكوّن الأساسي للغاز الطبيعي الذي يُستخدم لتشغيل الموقد أو جهاز تسخين المياه. يتسبّب كثير من هذه الغازات الأخرى، من خلال تفاعل جزيئاتها، بنسبة احتباس حراري أكبر من ثاني أكسيد الكربون، بحيث أنّ غاز الميثان يتسبّب باحتباس حراري أعلى بـ 120 مرة لدى وصوله إلى الغلاف الجوي. غير أنّ غاز الميثان لا يبقى في الغلاف الجوي لمدة طويلة كثاني أكسيد الكربون.

في سبيل تبسيط الأمور، يجمع معظم الناس بين مختلف غازات الانحباس الحراري ضمن إجراء أوحد يُعرف بـ«مكافئات ثاني أكسيد الكربون» (من الممكن استخدام مختصر المصطلح CO_2e). تُستخدم مكافئات ثاني أكسيد الكربون لأنّ بعض الغازات تحبس الحرارة أكثر من ثاني أكسيد الكربون ولكنها لا تبقى عالقة لفترات زمنية طويلة. غير أنّ مكافئات ثاني أكسيد الكربون ليست من الإجراءات المثالية، لأنّ المهمّ في نهاية المطاف هو الارتفاع المتزايد في درجات الحرارة وتأثيرها على البشر وليس حجم انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. على هذا الصعيد، يعتبر غاز الميثان أسوأ بكثير من ثاني أكسيد الكربون، لأنه يُسهم في ارتفاع درجات الحرارة إلى حدّ لا بأس به. وعند استعمال مكافئات ثاني أكسيد الكربون، لا يمكن أخذ هذا التأثير القصير الأمد الذي ينطوي على درجة عالية من الأهمية بعين الاعتبار.

على الرغم من ذلك، تعتبر المكافئات الطريقة الأمثل لتقدير الانبعاثات، وغالبًا ما تُطرح خلال المناقشات حول التغيُّر المناخي، ولهذا السبب، سأستخدمها في هذا الكتاب. تمثّل الـ 52 مليار طن التي أذكرها باستمرار حجم الانبعاثات السنوية العالمية من مكافئات ثاني أكسيد الكربون. من الممكن أن تقع على أرقام أخرى مثل 37 مليارًا، التي تمثّل حجم انبعاثات

ثاني أكسيد الكربون من دون غازات الاحتباس الحراري الأخرى، أو الـ10 مليارات التي تمثّل انبعاثات الكربون فحسب. وسأحرص في بعض الأحيان على استخدام مصطلح الكربون للدلالة على ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى، على سبيل التنويع، لأن قراءة عبارة «غازات الاحتباس الحراري» مئات المرات سوف تتسبّب في اتساع العينين.

ازدادت انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بشكل درامي منذ خمسينيات القرن التاسع عشر نتيجة الأنشطة التي يمارسها البشر ومنها إحراق الوقود الأحفوري. في الرسم البياني في الصفحة 31، تجدون إلى اليسار حجم نمو انبعاثات ثاني أكسيد الكربون منذ العام 1850، كما ترون إلى اليمين متوسّط ارتفاع درجات الحرارة في العالم.

كيف تتسبّب غازات الاحتباس الحراري بالاحترار؟ الإجابة بسيطة: تمتصّ الغازات الحرارة وتحتبسها في الغلاف الجوي، شأنها في ذلك شأن الدفيئة التي سُمّيت نسبةً إليها.

من الممكن رؤية تأثير غازات الدفيئة الفعلي على نطاق مختلف، في كلّ مرة تُترك فيها السيارة مركونة في أشعة الشمس: فالزجاج الأمامي للسيارة يسمح بدخول أشعة الشمس، ثمّ يحتبس بعضًا من هذه الطاقة. لهذا السبب، تكون درجات الحرارة داخل السيارة أعلى بكثير من درجات الحرارة الخارجية.

غير أنّ هذا التفسير يثير مزيدًا من الأسئلة. كيف يمكن لحرارة أشعة الشمس أن تفلت من غازات الدفيئة في طريقها إلى الأرض لتعود وتحتبسها الغازات نفسها في غلافنا الجوي؟ هل يمكن أن يكون ثاني أكسيد الكربون أشبه بمرآة عملاقة ذات اتجاه واحد؟ وعلى هذا الصعيد، كيف يمكن لثاني

أكسيد الكربون والميثان احتباس الحرارة في حين لا ينطبق ذلك على الأكسجين؟

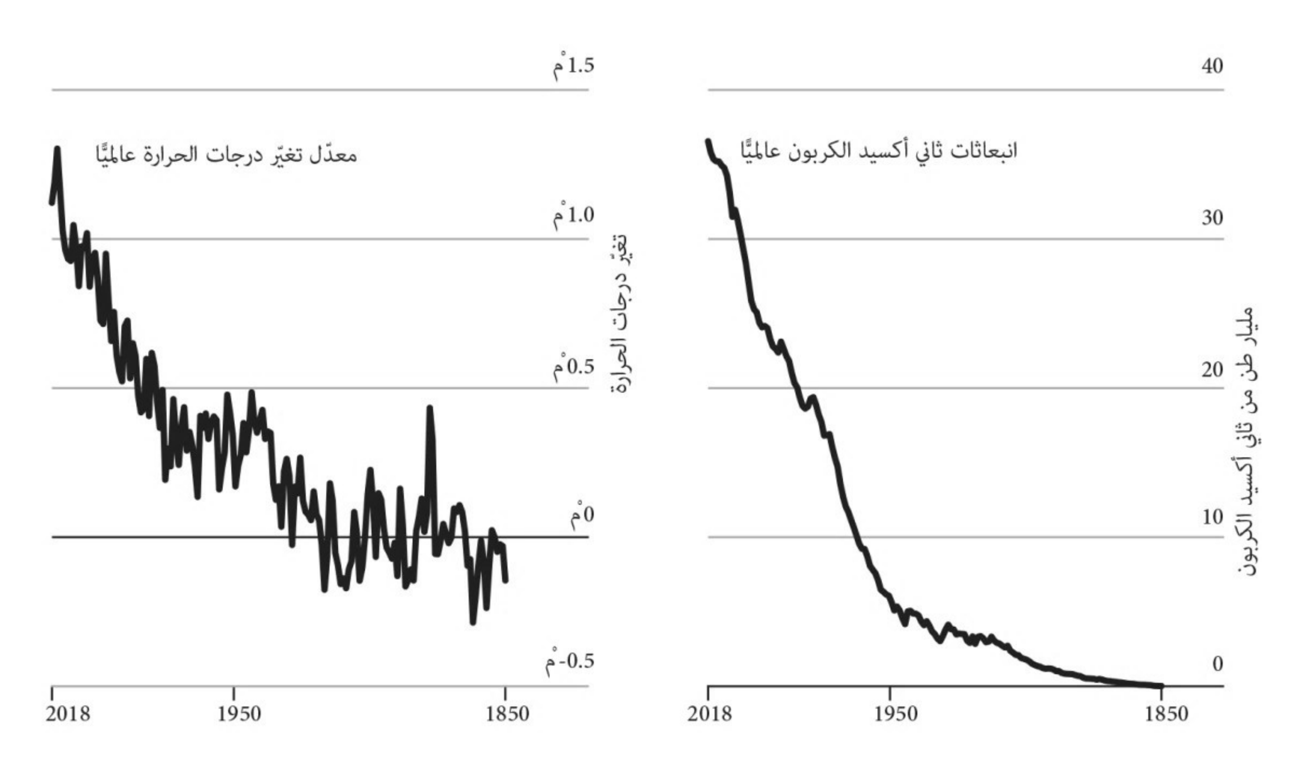
تكمن الإجابة على هذه الأسئلة في الكيمياء والفيزياء. أظنّ أن الجميع يتذكّر ما تعلّمناه في صف الفيزياء عن الاهتزاز الجزيئي؛ فكلّما كان الاهتزاز سريعًا، ارتفعت الحرارة أكثر. عند ارتطام بعض أنواع الجزيئات بالإشعاعات عند طول موجي معين، تبطل عمل الإشعاعات، تمتص الطاقة الكامنة فيها، وتضاعف سرعة اهتزازها.

ولكنّ الإشعاعات لا تمرّ كلها عبر الطول الموجي الصحيح لإحداث هذا التأثير. فأشعة الشمس مثلًا تمرّ عبر معظم الغازات الدفيئة من دون أن يجري امتصاصها، بحيث يبلغ الجزء الأكبر منها الأرض لتدفئة الكوكب، كما هي الحال منذ عصور طويلة.

هنا تكمن المشكلة: فالأرض لا تحتفظ بهذا الحجم من الطاقة إلى ما لا نهاية، ولو فعلت لتحوّل الكوكب إلى مكان حار إلى درجة لا تطاق. غير أنها تبعث عوضًا عن ذلك، بعضًا من هذه الطاقة باتجاه الفضاء، ويكون جزء من هذه الطاقة المنبعثة في النطاق الصحيح للطول الموجي لتمتصه غازات الدفيئة. وبدلًا من الخروج نحو الفراغ من دون التسبّب بأي ضرر، ترتطم بجزيئات الدفيئة التي تجعلها تهتز بشكل أسرع متسبِّبة بالتالي في ارتفاع حرارة الجو. (بالمناسبة، علينا أن نحمد الله على تأثير الدفيئة: فمن دونها لكان كوكب الأرض شديد البرودة وغير صالح ليعيش عليه البشر. المشكلة هي في أنّ غازات الدفيئة الفائضة تسبّب تأثيرات مفرطة).

لماذا لا تعمل كافة الغازات بهذه الطريقة؟ لأنّ الجزيئات التي تكون على نسختين في الذرّة الواحدة، كجزيئات النيتروجين أو الأكسجين، تسمح

بمرور الإشعاعات عبرها. وحدها الجزئيات المصنوعة من ذرّات مختلفة، كما هي الحال في ثاني أكسيد الكربون والميثان، تتمتّع بالبنية الصحيحة لامتصاص الإشعاعات وتصاعد درجات الحرارة.



تواصل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الارتفاع في ظل ارتفاع درجات الحرارة في العالم. ترون إلى اليمين كيفية ارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الأنشطة الصناعية وإحراق الوقود الأحفوري منذ العام. 1850 . وترون إلى اليسار كيفية ارتفاع متوسّط درجات الحرارة في العالم المقترن بتلك الانبعاثات (ميزانية الكربون العالمية 2019 ، مؤسسة بيركلي إيرث).

هذا هو الجزء الأوّل من الإجابة عن السؤال «لماذا علينا أن نبلغ نقطة الصفر؟»، والإجابة هي لأنّ كلّ جزء من الكربون ينبعث نحو الغلاف الجوي يضاعف تأثير الدفيئة. ما يعني أنه لا يمكن الالتفاف على الفيزياء.

يشمل الجزء الثاني من الإجابة التأثير الذي تخلّفه كافة غازات الاحتباس الحراري علينا وعلى المناخ.

ما نعرفه وما لا نعرفه

على العلماء أن يتعلّموا أمورًا كثيرة بعد عن كيفية تغيُّر المناخ والعوامل المسبّبة له. من جهتها، أعربت الهيئة الحكومية الدولية المعنيّة بتغيّر المناخ مسبقًا عن بعض الشكوك حول مدى وسرعة ارتفاع درجات الحرارة، والتأثيرات الدقيقة التي يمكن أن يخلّفها الارتفاع المتزايد في درجات الحرارة.

تتمثّل إحدى المشكلات القائمة في كون النماذج الحاسوبية بعيدة كلّ البعد عن الكمال. فالمناخ هو عبارة عن مركّب معقّد شديد الإثارة، حيث يتعذّر علينا فهم كثير من الأمور كتأثير الغيوم على الاحترار أو تأثير الارتفاع المتزايد في درجات الحرارة على الأنظمة البيئية. لذا، يسعى الباحثون إلى تحديد هذه الثغرات ومحاولة سدّها.

ومع ذلك، لا بد من الإقرار بأن العلماء يعرفون أمورًا كثيرة وبإمكانهم التحدّث بكل ثقة عمّا سيحدث في حال عدم بلوغنا نقطة الصفر. إليكم في ما يلي بعض النقاط الرئيسة:

تشهد الأرض ظاهرة احترار مترتّبة عن الأنشطة البشرية، ظاهرة لها تأثير سيّئ ومن الممكن أن يزداد سوءًا، كما تتوافر لدينا معطيات كثيرة تشير إلى أنّ هذا التأثير قد يتحوّل كارثيًا في مرحلة معينة. هل يمكن أن نبلغ تلك المرحلة بعد 30 سنة؟ أو 50 سنة؟ لا أحد يعرف بالضبط. ولكن في ظلّ الصعوبة التي سنواجهها لحلّ المشكلة، علينا أن نباشر بالعمل على الفور، حتى إذا ما تبيَّن لنا أن الأسوأ قد يحدث بعد 50 سنة.

ساهمنا منذ العصور السابقة للعصر الصناعي في رفع درجات الحرارة بمعدل درجة مئوية واحدة على الأقل، ومن المتوقّع أن يراوح هذا الارتفاع بين

1.5 درجات مئوية و3 في منتصف القرن، وبين 4 درجات مئوية و8 في نهاية القرن، إذا لم نحرّك ساكنًا لخفض نسبة الانبعاثات.

ويُتوقّع أيضًا أن يؤدّي هذا الارتفاع المتزايد في درجات الحرارة إلى تغيُّرات مختلفة على مستوى المناخ. وقبل أن أقدّم شرحًا لما ينتظرنا، عليّ أن أطلق هذا التحذير: على الرغم من أنه بوسعنا التنبؤ بمسار الاتجاهات العريضة، كاشتداد الحر وارتفاع منسوب البحار، لا يسعنا بالتأكيد إلقاء اللوم على المناخ في ما يتعلّق بأي حدث معين. ففي حال حدوث موجة من الحرّ الشديد، لا يسعنا مثلًا التأكيد على أنها مرتبطة بالتغيُّر المناخي فحسب. إلا أنه بوسعنا القول إن التغيُّر المناخي قد زاد من احتمال حدوث موجة الحر. في ما يتعلّق بالأعاصير، ليس من الواضح بعد ما إذا كان ارتفاع درجات حرارة مياه المحيطات يتسبّب في زيادة تواتر العواصف، إلّا أنّ الأدلة تشير إلى أن التغيُّر المناخي يجعل العواصف أكثر رطوبة ويضاعف عدد العواصف الشديدة. كما لا نعرف ما أو إلى أيّ حدّ يمكن لهذه الأحداث المتطرّفة أن تتفاعل لتصبح بالتالي تأثيراتها أكثر خطورة.

ما الذي نعرفه أيضًا؟

مما لا شكّ فيه أننا سنشهد مزيدًا من الأيام الحارة. يمكنني أن أعرض عليكم إحصائيات من مدن مختلفة من العالم، ولكنني اخترت الباكاركي في نيو مكسيكو، لأنّ علاقة خاصة تربطني بذلك المكان حيث أسّست بالتعاون مع پول آلن شركة مايكروسوفت (Microsoft) عام 1975 (أو مايكرو-سوفت ‘Micro-Soft’ توخّيًا للدقة، وحذفنا بعد بضع سنوات الواصلة كما وقمنا بتصغير حرف الـ S). في أواسط السبعينيات، في مراحل انطلاق الشركة، تخطّت درجات الحرارة في الباكاركي 90 درجة على مقياس فهرنهايت بمعدل 36 مرة

في السنة الواحدة. ومع انتصاف القرن، من المتوقّع أن تُجاوز درجات الحرارة 90 درجة بحسب أجهزة قياس الحرارة، ضعف المرات السابقة على الأقل، في السنة. ومع بلوغ العصر نهايته، ستعاني المدينة من اشتداد الحر 114 يومًا في السنة، أيّ ما يوازي ثلاثة أشهر من الحر سنويًا، في حين أنّ المعدل كان يوازي شهرًا واحدًا.

لن يعاني الجميع من الرطوبة والحرّ بشكل متساوٍ. فمنطقة سياتل التي نقلنا مكاتب شركة مايكروسوفت إليها في العام 1979، ستتمكّن من تجاوز الأزمة بشكل أسهل من سواها، بحيث أنّ درجات الحرارة يمكن أن تصل في نهاية القرن إلى 90 درجة، 14 يومًا في السنة، بعد أن كانت تصل إلى هذه المعدلات مرة أو مرتين في السنة في السبعينيات. ويمكن أيضًا أن يأتي المناخ الحار بفائدة على بعض المناطق، كما هي الحال مثلًا في المناطق الباردة، حيث ستقلّ نسبة الأشخاص الذين يموتون نتيجة تدني درجات الحرارة، والإنفلونزا، وسيتوقّفون عن إنفاق كثير من المال لتدفئة منازلهم ومكاتبهم.

ولكنّ الاتجاه العام يشير إلى أنّ الاحترار العالمي سيُسبّب مشكلات كثيرة بحيث أنّ الارتفاع المتزايد في درجات الحرارة سيكون له تداعيات مختلفة، لأنه سيزيد مثلًا من حدّة العواصف. فالعلماء ما يزالون يبحثون في ما إذا كان تواتر العواصف، التي باتت بشكل عام أكثر شراسة، مرتبطًا بارتفاع درجات الحرارة. عند ارتفاع معدل درجات الحرارة، تزداد نسبة تبخّر المياه من سطح الأرض وارتفاعها إلى السحب. يعتبر بخار المياه من الغازات الدفيئة، ولكنه خلافًا لثاني أكسيد الكربون، لا يبقى عالقًا في الهواء لفترة طويلة، بحيث أنه يعود ويهبط على سطح الأرض على شكل أمطار أو ثلوج.

عند تكاثف المياه المتبخّرة وتحوّلها إلى أمطار، تطلق كمية هائلة من الطاقة، طاقة لا يعرف معناها إلا من واجه عاصفة رعدية هائلة.



بالاستناد إلى إحدى الدراسات، أدّى إعصار ماريا الذي ضرب مدينة بورتوريكو إلى العودة بشبكة الطاقة الكهربائية حوالى عقدين من الزمن.

وفي حين أنّ أكثر العواصف شدّة لا تستمر إلَّا بضعة أيام، يمكن أن يتردّد صدى تأثيرها لعدة سنوات، لاسيّما وأنّ الموت يشكّل مأساة بحدّ ذاته ويتسبّب بانسحاق قلب الناجين كما ويتركهم في أكثر الأحيان ضحية لليأس. وتتسبّب الأعاصير والفيضانات أيضًا في تدمير المباني، والطرق وخطوط الطاقة التي تطلّب بناؤها سنوات عدّة. صحيح أنه من الممكن في نهاية المطاف إعادة بناء هذه المنشآت كلها، غير أنّ ذلك يؤدّي إلى استنزاف الوقت والمال بدلًا من استخدامه في استثمارات جديدة من شأنها أن تسهم في النمو

الاقتصادي. ما يعني أنه بدلًا من المضي قدمًا، نسعى دائمًا إلى العودة إلى ما كنا عليه. وقدّرت إحدى الدراسات أنّ إعصار ماريا الذي حدث في العام 2017 أدى إلى العودة بالبنية التحتية في مدينة بورتوريكو عقدين إلى الوراء. كم من الوقت سيمضي قبل أن تشعل العاصفة التالية محرّكاتها وتصيبها بنكسة جديدة؟ لا نعلم.

تتسبّب هذه العواصف الشديدة بخلق حلقة غريبة من الوفرة والندرة: فعلى الرغم من أنّ كميات الهطولات ارتفعت في بعض الأماكن، تعاني أماكن أخرى من حالات متكرّرة وأكثر شدّة من الجفاف. فالهواء الشديد السخونة يحتفظ بمزيد من الرطوبة، وكلّما ازداد الهواء دفئًا، أصبح أكثر عطشًا، وتشرّب مزيدًا من المياه من التربة. ومع إشراف العقد على الانتهاء، ستنخفض نسبة الرطوبة في التربة في المناطق الواقعة جنوب غرب الولايات المتحدة بمعدل 10 % إلى 20، ما يضاعف خطر الجفاف بنسبة لا تقل عن 20 %. ويهدّد الجفاف أيضًا نهر كولورادو الذي يوفّر مياه الشفة لما يقرب من أربعين مليون شخص ومياه الري لأكثر من سُبع المحاصيل الزراعية في أميركا.

من المتوقّع أن يترتّب عن ازدياد حرارة المناخ حرائق طبيعية أكثر تواترًا وتدميرًا. فالهواء الدافئ يمتصّ الرطوبة من النباتات والتربة ويتركها عرضة لخطر الاحتراق. تكثر التباينات في العالم، لأنّ الظروف تختلف إلى حد بعيد بين مكان وآخر. غير أنّ ولاية كاليفورنيا تشكّل مثالًا صارخًا عما يجري. فالحرائق الطبيعية في تلك الولاية ازدادت بمعدل خمس مرات أكثر مما كانت عليه في السبعينيات، ومردّ ذلك إلى امتداد موسم الحرائق لفترة زمنية أطول واحتواء الغابات فيها إلى كميات أكبر من الأخشاب الجافة التي من المحتمل أن تحترق. بالاستناد إلى الحكومة الأميركية، يعود الجزء الأكبر من هذا الازدياد

إلى التغيُّر المناخي، بحيث أنه من الممكن في منتصف القرن أن يتضاعف حجم الدمار الناجم عن الحرائق الطبيعية في الولايات المتحدة عما هو عليه اليوم. من البديهي أن يثير ذلك قلق كلّ من يتذكّر موسم الحرائق الطبيعية المدمّرة التي شهدتها أميركا في العام 2020.

من التأثيرات الأخرى المترتّبة عن ارتفاع درجات الحرارة، ارتفاع منسوب البحار. يعود ذلك إلى ذوبان الجليد القطبي من جهة، وتمدّد مياه البحار عند ارتفاع حرارتها من جهة أخرى (شأنها في ذلك شأن المعادن، ولهذا السبب لا يمكن تليين الخاتم العالق في الأصبع إلّا عبر وضعه تحت المياه الساخنة). على الرغم من أنّ الارتفاع العام في المعدل العالمي لمنسوب البحار، الذي قد يبلغ بضع أقدام بحلول العام 2100، قد لا يبدو عظيم الشأن، إلّا أن ارتفاع المد سيؤثّر على بعض الأماكن أكثر من سواها. من البديهي أن تواجه المناطق الشاطئية مشكلات على هذا الصعيد، شأنها في ذلك شأن المناطق الكثيرة المنافذ المفتوحة. فميامي مثلًا تشهد فورانًا لمياه البحر عبر مجاري مياه الأمطار، حتى في الأيام التي لا تمطر فيها، وهي ظاهرة تُعرف بفيضان الطقس الجاف، والوضع لا يشهد أيّ تحسّن. بالاستناد إلى السيناريو المعتدل الذي وضعته الهيئة الحكومية الدولية المعنيّة بتغيّر المناخ، سيرتفع منسوب البحر حول ميامي بحوالى القدمين مع حلول العام 2100. كما وأنّ بعض أجزاء المدينة تشهد عملية ترسيب أو غرق، ما من شأنه أن يضيف قدمًا أخرى من المياه.

ويتوقّع أن يكون تأثير ارتفاع منسوب البحار أكثر سوءًا على الأشخاص الأكثر فقرًا في العالم. تمثّل بنغلادش، وهي دولة فقيرة أحرزت تقدّمًا لافتًا على مسار الخروج من الفقر، أحد الأمثلة البارزة، بالنظر إلى ما عانته من الأحوال المناخية القاسية. فهي تمتلك مئات الأميال من السواحل الممتدة

على طول خليج بنغال، كما يقع الجزء الأكبر من البلاد في دالات أنهر منخفضة عرضة للفيضانات، وتشهد سنويًا كمية كبيرة من الهطولات من الأمطار. ولكن التغيُّر المناخي يجعل الحياة في تلك البلاد أكثر صعوبة. وأصبح من الشائع الآن أن تغمر المياه 20 % إلى 30 من بنغلادش بسبب الأعاصير، المد العاصفي وفيضانات الأنهر، وتجرف معها المحاصيل والمنازل وتحصد أرواحًا كثيرة في جميع أنحاء البلاد.

وفي الختام، ونتيجة الحر الزائد الناجم عن ثاني أكسيد الكربون، ستتعرّض النباتات والحيوانات للضرر. بحسب البحث الذي أشارت إليه الهيئة الحكومية الدولية المعنيّة بتغيّر المناخ، من الممكن أن يؤدّي الارتفاع بمعدل درجتين مئويتين إلى خفض النطاق الجغرافي للفقاريات بنسبة 8 %، والنباتات بنسبة 16 % والحشرات بنسبة 18 %.

في ما يتعلّق بالأطعمة التي نتناولها، يمكن وصف الصورة بالمشوّشة، مع أنها قاتمة بشكل عام. فعند ارتفاع كمية الكربون في الهواء، ينمو القمح ونباتات أخرى كثيرة بشكل أسرع، من دون الحاجة إلى كمية كبيرة من المياه، من جهة، فيما تعتبر الذرة التي تمثّل المحصول الأوّل في الولايات المتحدة بحيث توازي قيمته أكثر من 50 مليار دولار أميركي في السنة حسّاسة بشكل خاص إزاء الحر، من جهة أخرى. ففي ولاية آيوا وحدها، تتخطّى مساحات الأراضي المزروعة بالذرة 13 مليون أكر.

على المستوى العالمي، تكثر الاحتمالات حول كيفية تأثير التغيُّر المناخي على كمية المنتجات الغذائية التي نحصل عليها من كلّ أكر من المحاصيل. من الممكن أن ترتفع الإنتاجية في بعض المناطق الواقعة في الجزء الشمالي، في حين أنها ستشهد انخفاضًا لافتًا في معظم الأماكن الأخرى

من بضع نقاط مئوية إلى ما يقرب من 50 %. ويتوقّع أن يؤدّي التغيُّر المناخي إلى خفض إنتاج القمح والذرة في أوروبا الجنوبية إلى النصف بحلول منتصف القرن. أما في البلدان الأفريقية جنوب الصحراء، سيشهد المزارعون على انكماش موسم الزراعة بنسبة 20 % فيما ستصبح ملايين الأكرات من الأراضي أكثر جفافًا. وفي المجتمعات الفقيرة، حيث ينفق العديد من الأشخاص أكثر من نصف دخلهم على توفير الطعام، سترتفع أسعار المواد الغذائية بنسبة 20 % أو أكثر. ومن الممكن أن يسبّب الجفاف الشديد في الصين، التي يوفّر نظامها الزراعي القمح، والأرز والذرة لأكثر من خمس سكان العالم، أزمة غذائية إقليمية أو حتى عالمية.

كما يسيء الارتفاع المفرط في الحرارة أيضًا إلى الحيوانات التي نأكل لحمها ونشرب حليبها، بحيث يجعلها أقل إنتاجية وأكثر عرضة للموت في سن صغيرة، ما سيؤدّي بدوره إلى غلاء اللحوم، والبيض ومنتجات الألبان. وستواجه المجتمعات التي تعتمد على المأكولات البحرية مشكلات بدورها، ليس لأنّ حرارة مياه البحار تزداد دفئًا فحسب، بل لأنها تتفرّع أيضًا، وتُنشِىء أماكن حيث المياه تحتوي على كمية أكبر من الأكسجين، وأماكن أخرى حيث نسبة الأكسجين أقل. ونتيجة ذلك، تنتقل الأسماك والحيوانات البحرية الأخرى إلى مياه جديدة أو تفنى بكل بساطة. في حال ارتفاع الحرارة درجتين مئويتين، ستختفي الشعب المرجانية كليًا وتتسبّب بالقضاء على مصدر رئيس للمأكولات البحرية لأكثر من مليار شخص.

المصائب لا تأتي فرادى

قد يخيّل إليك أنّ الاختلاف بين درجة ونصف الدرجة ودرجتين ليس ذا شأن عظيم، ولكنّ علماء المناخ أجروا عمليات محاكاة لكل من السيناريوين،

وما توصلوا إليه لا يبشر بالخير. فمن نواحٍ كثيرة، لن يكون الضرر المترتّب عن الارتفاع بمعدل درجتين أسوأ بنسبة 33 % من الارتفاع بمعدل 1.5 درجة، بل بنسبة 100 %، ما يعني أنّ ضعف عدد الناس سيجدون صعوبة في الحصول على المياه النظيفة. كما سيتراجع إنتاج الذرة في المناطق الاستوائية بنسبة الضعف.

لا شكّ في أن كلًا من هذه التأثيرات المترتّبة عن التغيُّر المناخي ستكون سيّئة بما فيه الكفاية. ولكن لا يمكن القول إننا سنعاني من الحر الشديد، أو الفيضانات فحسب، لأنّ المناخ لا يعمل على هذا النحو، وتأثيرات التغيُّر المناخي تتراكم الواحدة فوق الأخرى.

فمع ارتفاع درجات الحرارة، سينتقل مثلًا البعوض للعيش في أماكن جديدة (يفضّل البعوض الأماكن الرطبة، وسينتقل بالتالي من الأماكن حيث يخيّم الطقس الجاف إلى أماكن أكثر رطوبة)، ما سيؤدّي إلى ظهور حالات ملاريا وغيرها من الأمراض المنقولة بالحشرات في أماكن لم تظهر فيها أبدًا من قبل.

وستشكّل ضربة الشمس مشكلة أخرى رئيسة لكونها مرتبطة بالرطوبة إلى جانب عوامل أخرى. فالهواء يحتوي على كمية معينة من بخار المياه، وعند ارتطامه في مرحلة معينة بالسقف، يصبح مشبعًا إلى أقصى درجة بحيث لا يعود بإمكانه امتصاص مزيد من الرطوبة. لماذا يعتبر ذلك مهمًا؟ لأنّ قدرة الجسم البشري على خفض حرارته تتوقّف على قدرة الهواء على امتصاص التعرّق عند تبخره. في حال لم يتمكّن الهواء من امتصاص التعرّق، لا يمكن لدرجة حرارة الجسم أن تنخفض مهما بلغت كمية العرق المفرزة، لأنّ

العرق لن يجد أيّ مكان آخر له. فتبقى بالتالي حرارة الجسم مرتفعة ويموت المرء من ضربة الشمس في غضون ساعات في حال لم يحدث أيّ تغيير.

صحيح أنّ ضربة الشمس ليست أمرًا جديدًا، ولكن ارتفاع الحرارة ونسبة الرطوبة في الغلاف الجوي سيولّد مشكلة أكبر بكثير. وفي المناطق التي تواجه خطرًا أكبر، كالخليج الفارسي، وجنوب آسيا وأجزاء من الصين، سيكون مئات الملايين من الناس في أوقات معيّنة من السنة عرضة للموت.

لمعرفة ما يمكن أن يحدث عندما تبدأ هذه التأثيرات بالتراكم، علينا أن نراقب تأثيرها على الأفراد. فلتتخيّل مثلًا أنك مزارعٌ شابٌ وناجحٌ من العام 2050 تزرع الذرة وفول الصويا وتملك قطيعًا من الماشية في نبراسكا. كيف سيؤثّر التغيُّر المناخي عليك وعلى عائلتك؟

تعيش في قلب الولايات المتحدة، بعيدًا عن السواحل، ما يعني أنّ ارتفاع منسوب البحار لن يُلحق بك ضررًا مباشرًا، بخلاف ارتفاع درجات الحرارة. ففي العقد الثاني من الألفية الثانية، يوم كنتَ طفلًا، كنت تعاني على مدى 33 يومًا من السنة من ارتفاع درجات الحرارة إلى 90 درجة فهرنهايت؛ ولكن هذا العدد ازداد اليوم وأصبح 65 يومًا أو 70 في السنة. أما الأمطار، فلم تَعُد مصدرًا للمياه يعوَّل عليه: فعندما كنتَ طفلًا، كانت كمية الهطولات تصل إلى 25 إنشًا في السنة، أما اليوم فهي تراوح بين 22 إنشًا و29.

من الممكن أن تتمكّن من تكييف الأعمال مع الأيام الشديدة الحرّ والهطولات المتقلّبة. في السنوات القليلة الماضية، استثمرتَ في مجموعة متنوّعة من المحاصيل التي من شأنها تحمُّل الحرّ الشديد، ووجدتَ حلولًا وقتية لتتمكّن من البقاء في الداخل في خلال أسوأ ساعات النهار. صحيحٌ أنك لم تكن

تحبّذ إنفاق هذه الأموال كلها على المحاصيل والحلول الوقتية، ولكنها أفضل من البدائل الأخرى.

وفي أحد الأيام، هبّت عاصفة قوية من دون سابق إنذار، وفاضت مياه الأنهر المجاورة وتسرّبت من فوق السدود التي كانت تحتجزها لعقود طويلة، ما أدّى إلى غمر المياه مزرعتك. إنه أشبه بالطوفان الذي عُرف لمئة سنة خلت بالفيضان، ولكنّك تعتبر نفسك محظوظًا إذا ما حدث هذا النوع من الطوفان مرة واحدة في العقد.

جرفت المياه جزءًا كبيرًا من محاصيل الذرة وفول الصويا، كما غمرت المياه الحبوب المخزنة متسبِّبة في تعفّنها بحيث لم تعد صالحة. من الناحية العملية، يمكن لك بيع الماشية للتعويض عن خسارتك، ولكنّ المياه قضت أيضًا على علف الماشية ولم يعد بإمكانك إطعامها وإبقائها على قيد الحياة لفترة طويلة.

ومع انحسار المياه تدريجًا، تبيّن أنّ الطرقات، والجسور وخطوط السكك الحديدية المجاورة لم تعد صالحة للاستخدام. ما يعني أنه لم يعد بإمكانك شحن الحبوب المتبقّية التي تمكِّنك من الاحتفاظ بها، كما بات من الصعب على الشاحنات تسليم البذور لموسم الزراعة المقبل، بافتراض أنّ الحقول ما تزال صالحة للاستعمال. ما يعني أن تلك كارثة وما ترتّب عنها قد يقضي على مهنتك كمزارع ويرغمك على بيع الأرض التي كانت ملكًا لأسرتك على مدى أجيال عدّة.

قد يبدو الأمر وكأنني أتعمّد اختيار المثال الأكثر تطرّفًا، ولكن هذه الحالات تحدث فعلًا، وأثرها يطال المزارعين الفقراء بشكل خاص، ومن الممكن أن تصيب عددًا أكبر من الناس خلال العقود القليلة المقبلة. وعلى

الرغم من أنّ الأمور سيئة جدًا، يمكن أن يتبيّن لنا من خلال المنظور العالمي أنّ الأمور ستزداد سوءًا بالنسبة إلى المليار الأكثر فقرًا من بين سكان العالم الذين يبذلون كثيرًا من الجهد حاليًا من أجل البقاء، وعليهم بذل جهد أكبر مع تفاقم الأحوال المناخية.

تخيّل مثلًا أنك تعيش في المناطق الريفية في الهند، حيث تعمل مع زوجتك كمزارع كفاف، ما يعني أنك وأطفالك تأكلون تقريبًا كلّ المحاصيل المزروعة. في المواسم الجيدة، تستطيع بيع المحاصيل الفائضة لشراء الدواء للأطفال أو لإرسالهم إلى المدارس. غير أنّ موجات الحرّ باتت لسوء الحظ شائعة جدًا ولم تعد قريتك صالحة للعيش، خاصة أن الحرارة قد تتخطّى 120 درجة على مدى أيام عدّة. وما بين الحرارة المرتفعة والآفات التي غزت حقولك للمرة الأولى، لم يعد من الممكن أن تبقى المحاصيل حيّة. وفي حين غمرت الأمطار المترافقة مع الرياح الموسمية مناطق أخرى من البلاد، تراجعت كمية الهطولات في قريتك عمّا كانت عليه، وبات من الصعب العثور على المياه للبقاء إلَّا من خلال أنبوب تتقاطر المياه منه بضع مرّات في الأسبوع. ومع تفاقم الأمور وصعوبة تأمين الطعام لأسرتك، أرسلت ابنك البكر للعمل في مدينة كبرى تقع على بعد مئات الأميال لأنك لم تعد قادرًا على إطعامه. كما أقدم أحد جيرانك على الانتحار بعد أن بات من الصعب عليه إعالة أسرته. فهل تبقى مع زوجتك وتحاولان سويًا إحياء المزرعة التي لطالما تعوّدتما الاعتناء بها أم تتخلّيان عن الأرض وتنتقلان إلى منطقة حضرية حيث قد تتمكّنا من كسب العيش؟

لا ريب أنه قرار مؤلم، ولكنّ الناس في مختلف أنحاء العالم يواجهون هذا النوع من الخيارات التي غالبًا ما تكون نتائجها مفجعة. فخلال الجفاف الشديد الذي شهدته سوريا ما بين العامين 2007 و2010 واعتبر الأسوأ من

نوعه حتى تاريخه، انتقل ما يقرب من مليون شخص ونصف المليون من المناطق الزراعية إلى المدن، مسهمين بذلك في تمهيد الطريق أمام النزاع المسلّح الذي بدأ في العام 2011. ويُعتقد أنّ احتمال أن يكون التغيُّر المناخي قد تسبَّب بهذا الجفاف هو أكثر بمعدل ثلاثة أضعاف. بحلول العام 2018، بلغ عدد النازحين من السوريين 13 مليون مواطن سوري.

من المتوقّع أن تزداد هذه المشكلة سوءًا. فقد أظهرت إحدى الدراسات المعنية بالعلاقة بين الصدمات المناخية وطلبات اللجوء إلى دول الاتحاد الأوروبي بأن طلبات اللجوء يمكن أن ترتفع، حتى في حال ارتفاع درجات الحرارة بشكل معتدل، بنسبة 28 % أيّ إلى حوالى 450 ألف طلب في السنة، بحلول نهاية القرن. وقدّرت الدراسة نفسها أنه بحلول العام 2080 سيحثّ انخفاض إنتاجية المحاصيل من 2 % إلى 10 من البالغين في المكسيك على محاولة عبور الحدود للدخول إلى الولايات المتحدة.

فلنحاول وضع هذا كلّه ضمن سياق سهل الفهم على كلّ من يعاني من جائحة كوفيد-19. إذا كنت ترغب في فهم طبيعة الضرر الذي سيتسبّب به التغيُّر المناخي، تذكر جائحة كوفيد-19 وتخيّل امتداد الألم لفترة زمنية أطول. فخسارة الأرواح والبؤس الاقتصادي الذي سبّبه الفيروس المستجدّ مساوٍ لما سيتكرّر بصورة منتظمة في حال لم نبادر إلى التخلّص من انبعاثات الكربون في العالم.

سأبدأ أولًا بالحديث عن خسارة الأرواح؟ كم سيبلغ عدد الأرواح التي سيحصدها فيروس كوفيد-19 مقارنةً بالتغيُّر المناخي؟ بما أننا سنجري مقارنة للأحداث في أوقات زمنية مختلفة، والمقصود بذلك الجائحة في العام 2020 والتغيُّر المناخي في العام 2030، وما سيترتّب عن ذلك من تغيير على مستوى

السكان في العالم، لا يسعنا مقارنة الأرقام المطلقة للوفيات، وسنستخدم بالتالي معدل الوفيات، أيّ عدد الوفيات لكل 100 ألف شخص.

ومن خلال استخدام البيانات العائدة للإنفلونزا الإسبانية في العام 1918 وجائحة كوفيد-19 وحساب متوسّط الأعداد على مدار القرن، بوسعنا أن نقدّر حجم زيادة معدل الوفيات في العالم المترتّبة عن أيّ جائحة عالمية، والموازي لـ 14 حالة وفاة لكل 100 ألف شخص سنويًا.

كيف يمكن مقارنة ذلك بالتغيُّر المناخي؟ مع حلول منتصف القرن، يُتوقّع أن يؤدّي الارتفاع الشامل في درجات الحرارة إلى زيادة معدلات الوفيات بالحجم نفسه، أيّ 14 حالة وفاة لكل 100 ألف شخص. ومع مشارفة العقد على نهايته، من الممكن أن يتحمّل التغيُّر المناخي مسؤولية ارتفاع هذا الحجم إلى 75 حالة وفاة لكل 100 ألف شخص في حال استمرّت الانبعاثات في الازدياد.

بعبارة أخرى، قد يكون التغيُّر المناخي بحلول منتصف القرن مميتًا بقدر فيروس كوفيد-19 كما يمكن أن يصبح مميتًا بمعدل خمسة أضعاف أكثر بحلول العام 2100.

ولا يمكن الادّعاء بأنّ الصورة الاقتصادية أقل قتامة. صحيحٌ أنّ التأثيرات المحتملة لجائحة كوفيد-19 قد تختلف بعض الشيء عن تلك المترتّبة عن التغيُّر المناخي، بحسب النموذج الاقتصادي الذي نستخدمه، إلَّا أن النتائج شديدة الوضوح: فخلال العقد أو العقدين التاليين، ستترتّب عن التغيُّر المناخي أضرار لا تقل سوءًا عن تلك المترتّبة عن انتشار جائحة بحجم كوفيد-19 كلّ عشر

سنوات. وبحلول نهاية القرن الواحد والعشرين، ستتفاقم هذه الأضرار في حال استمرار العالم في إطلاق الانبعاثات بالحجم نفسه [4].

قد يبدو كثير من التوقّعات الواردة في هذا الكتاب مألوفٌ بالنسبة إلى من يتابع مسألة التغيُّر المناخي على وسائل الإعلام؛ ولكن مع ارتفاع درجات الحرارة، سيواجه مزيد من الأشخاص هذه الحالات، وبشكل أكثر تواترًا وحدّة. ومن المحتمل حدوث تغيُّر مناخي مفاجئ وكارثي، في حال ارتفاع درجات الحرارة مثلًا على نطاق واسع في الأرض الدائمة التجلُّد (ما يُعرف بالتربة الصقيعية) وذوبانها وإطلاقها للكميات الهائلة من الغازات الدفيئة، ولاسيّما الميثان، المحتبسة فيها.

على الرغم من الشكوك العلمية القائمة، أعتقد بأننا نفهم بما فيه الكفاية لندرك أنّ ما نحن مقبلون عليه سيكون سيئًا. في ما يلي عرض للخطوتين الأساسيتين اللتين يمكن اتّخاذهما على هذا الصعيد:

التكيّف. بوسعنا محاولة التقليل إلى أقصى حدّ ممكن من تأثير الأشياء الموجودة حاليًا وتلك التي نعلم بأنها آتية. وبالنظر إلى أنّ تأثير التغيُّر المناخي سيكون سيئًا جدًا على الناس الأكثر فقرًا، ومعظم الناس الأكثر فقرًا هم من المزارعين، يشكّل التكيّف محور التركيز الأساسي للمجموعة المعنية بالزراعة في مؤسسة غيتس. فنحن نموّل مثلًا مجموعة كبيرة من البحوث حول الأصناف الجديدة من المحاصيل القادرة على تحمُّل الجفاف والفيضانات المتوقّع أن تشتدّ تواترًا وحدّة في العصور المقبلة. سأقدم مزيدًا من الشرح عن التكيّف وأحدّد الخطوات البسيطة التي ينبغي علينا اتخاذها في الفصل التاسع.

التخفيف البيئي. لا يتطرّق الجزء الأكبر من هذا الكتاب إلى عملية التكيّف، بل إلى الإجراء الآخر الذي ينبغي لنا اتّخاذه، وهو الكفّ عن إضافة مزيدٍ من الغازات الدفيئة إلى الغلاف الجوي. يكمن الأمل الوحيد في تفادي الكارثة في خفض الدول الثرية، التي تُعَدّ المصدر الأكبر للانبعاثات في العالم، انبعاثاتها حتى تبلغ الصافي الصفري بحلول العام 2050. وتليها في مرحلة لاحقة، الدول المتوسّطة الدخل على أن تحذو دول العالم كلها حذوها في نهاية المطاف.

سمعت بعض الأشخاص يعترضون على فكرة وضع الدول الثرية في المقام الأوّل: «لماذا علينا أن نتحمّل العبء الأكبر؟»، ليس لأننا وبكل بساطة السبب في الجزء الأكبر من هذه المشكلة (على الرغم من أن ذلك صحيح)، بل لأنّ ذلك يشكل فرصة اقتصادية هائلة. فالبلدان التي تمتلك شركات وصناعات خالية من الكربون ستتمكّن من الإمساك بدفّة الاقتصاد العالمي في العقود القليلة المقبلة.

وتعتبر الدول الثرية الأكثر قدرة على تطوير حلول مبتكرة للمناخ، لكونها تتمتّع بتمويلات حكومية، وجامعات للبحوث، ومختبرات وطنية، وشركات ناشئة قادرة على استقطاب المواهب من دول العالم كافة، ما يجعلها مؤهّلة لقيادة المسيرة. فمن يتمكّن من تسجيل اختراقات في مجال الطاقة ويُثبت أنّها قابلة للتشغيل على المستوى العالمي وبتكلفة ميسورة، سيجد عددًا كبيرًا من الزبائن في الأنظمة الاقتصادية الناشئة.

أرى مسارات مختلفة عدّة من شأنها أن تساعدنا على بلوغ نقطة الصفر. وقبل التطرّق إليها بشكل مفصّل، علينا أن نقيّم بالضبط مدى صعوبة الرحلة.

الفصل الثاني

الدرب شاقّة

من فضلك، لا تدع عنوان هذا الفصل يسبّب لك الإحباط. آمل أن يكون قد أصبح واضحًا الآن أنني مؤمن بإمكانية بلوغنا نقطة الصفر، وسأحاول في الفصول التالية الإفصاح عن الأسباب التي تجعلني واثقًا من ذلك المطلوب لبلوغ تلك النقطة. غير أننا لا نستطيع حلّ مشكلة كتلك المتعلّقة بالتغيُّر المناخي من دون إجراء حساب دقيق لكمّ الأعمال التي علينا القيام بها والعراقيل التي ينبغي تخطّيها. فلنلقي إذن نظرة على الحواجز الكبرى التي نواجهها، واضعين نصب أعيننا النجاح في إيجاد حلول، بما في ذلك الطرق اللازمة لتسريع مرحلة الانتقال من استخدام الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري.

الوقود الأحفوري أشبه بالمياه. إنني من أشدّ المعجبين بالكاتب الراحل ديڤيد فوستر والاس. (إنني أستعدّ لقراءة روايته الشهيرة «سخرية لا نهائية» فور انتهائي من الاستمتاع بقراءة كلّ الروايات الأخرى التي كتبها). عندما ألقى

والاس في العام 2005 في جامعة كينيون خطاب التخرّج الذي حظي بعدها بشهرة واسعة، استهل كلامه بهذه القصة:

«بينما كانت سمكتان يافعتان تسبحان معًا، التقتا بسمكة مسنّة تسبح في الجانب الآخر، فأومأت لهما برأسها وقالت: «صباح الخير، كيف حال المياه اليوم؟»، فسبحت السمكتان قليلًا، ثمّ نظرت إحداهما إلى الأخرى وقالت لها: «ماذا تقصد بالمياه بحقّ السماء؟» [5].



وأوضح والاس كلامه قائلًا: «يتمثّل المغزى الأوّل والمباشر لرواية السمكة في صعوبة رؤية الحقائق البديهية، والمطلقة والهامة والتحدّث عنها في معظم الأحيان».

والوقود الأحفوري ينتمي إلى هذه الفئة. فانتشار استخدامه على نطاق واسع يجعل من الصعب استيعاب كلّ الطرق التي يؤثّر فيها، إلى جانب مصادر غازات الاحتباس الحراري الأخرى، على حياتنا. أظن أنه من الأجدى أن نبدأ بالأشياء التي نستخدمها بصورة يومية ونمضي بعدها قدمًا.

هل نظّفت أسنانك هذا الصباح؟ تحتوي فرشاة الأسنان على مادة البلاستيك، المصنوعة من المنتجات البترولية، التي تُعدّ بدورها من الوقود الأحفوري.

إذا تناولتَ فطورك هذا الصباح، فاعلم أنّ الأسمدة التي استُخدمت في زراعة الحبوب التي في الخبز المحمّص والرقاقات تطلق غازات الاحتباس الحراري عند تصنيعها. كما أنّ الجرارات التي استخدمت في حصاد تلك الحبوب مصنوعة من الفولاذ الذي تتسبّب عملية تصنيعه من الوقود الأحفوري بإطلاق الكربون، كما أنها تعمل على البنزين. إذا تناولت البرغر على الغذاء، على غرار ما أفعل أنا بين الحين والآخر، فاعلم أنّ تربية العجول، التي تطلق غاز الميثان عند التجشّوء أو الفساء، تسبّبت بإطلاق غازات الاحتباس الحراري، شأنها شأن زراعة القمح الذي صُنعت منه قطعة الخبز.

ومن الممكن أيضًا أن تكون ملابسك مصنوعة من القطن الذي تمّ تخصيبه وحصاده، أو البوليستر المصنوع من مادة الإيثيلين التي تُعدّ من مشتقات البترول. كما وأنّ ورق المرحاض الذي تستخدمه اقتضى تصنيعه قطع الأشجار متسبّبًا بالتالي في انبعاث الكربون.

إذا كانت السيارة التي تستقلّها للتوجّه إلى العمل أو المدرسة تعمل على الطاقة الكهربائية، فذلك أمر جيد، على الرغم من استخدام الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة الكهربائية. وفي حال اخترتَ أن تستقلّ القطار، فاعلم أنّ السكك التي يسير عليها مصنوعة من الفولاذ، والأنفاق التي يعبر فيها مبنيّة من الإسمنت، الذي تسبّب تصنيعه من الوقود الأحفوري في إطلاق الكربون باعتباره منتجًا ثانويًا. ولا تنسى أنّ السيارة أو الحافلة التي استقللتها مصنوعة من البلاستيك، وكذلك الدرّاجة التي تنزّهت على متنها الأسبوع الفائت، فضلًا عن أنّ الطرقات التي اجتزتها تحتوي على الإسمنت والأسفلت المشتقّ من المواد البترولية.

في حال كنت تقيم في شقة في مبنى سكني، فهذا يعني أنك محاط بالإسمنت. أما إذا كنت تقيم في منزل خشبي، فاعلم أنّ الخشب الذي استخدم في بناء المنزل قد قُطِعَ وشُذِّب باستعمال آلات تعمل بالغاز ومصنوعة من الفولاذ والبلاستيك. وفي حال كان مكتبك أو منزلك مزوّدًا بجهاز تكييف، فاعلم أنّ الجهاز لا يستخدم كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية فحسب، بل من الممكن أن تكون مادة التبريد في الجهاز من غازات الاحتباس الحراري الفعّالة. ولا تنسى أنّ تصنيع الكرسي المعدني أو البلاستيكي الذي تجلس عليه قد تسبّب أيضًا بمزيد من الانبعاثات.

عمليًا، يحتاج نقل هذه الأشياء كلها، بدءًا من فرشاة الأسنان وصولًا إلى مواد البناء، إلى شاحناتٍ، وطائراتٍ، وقطاراتٍ، وسفنٍ، مصنوعة من الوقود الأحفوري وتعمل من خلاله.

باختصار، من الواضح أنّ الوقود الأحفوري منتشر في كلّ مكان. فلنأخذ النفط على سبيل المثال: يستهلك العالم يوميًا ما يزيد عن 4 مليار من

الغالونات. ما يعني أنه من الصعب وقف استهلاك منتَج بهذا الحجم بين ليلة وضحاها.

ولعلّ أكثر ما يبرّر سبب انتشار استخدام الوقود الأحفوري على هذا النطاق الواسع هو ثمنه البخس. لم أصدّق أذني يوم سمعت للمرّة الأولى شخصًا يقول إنّ النفط أرخص من المشروب الغازي، ولكن تبيّن لي أنّ كلامه صحيح. إليك المعادلة الحسابية: يحتوي برميل النفط على 42 غالونًا، والسعر الوسطي للبرميل بلغ في العام 2021 نحو 70 دولارًا أميركيًا، ما يعني أنّ سعر الغالون لا يتخطّى 1.67 دولارات أميركية. في المقابل، كانت شركة كوستكو تبيع كلّ 8 ليترات من الصودا بستة دولارات أميركية، أيّ ما يوازي 2.85 دولارات أميركية لكل غالون.

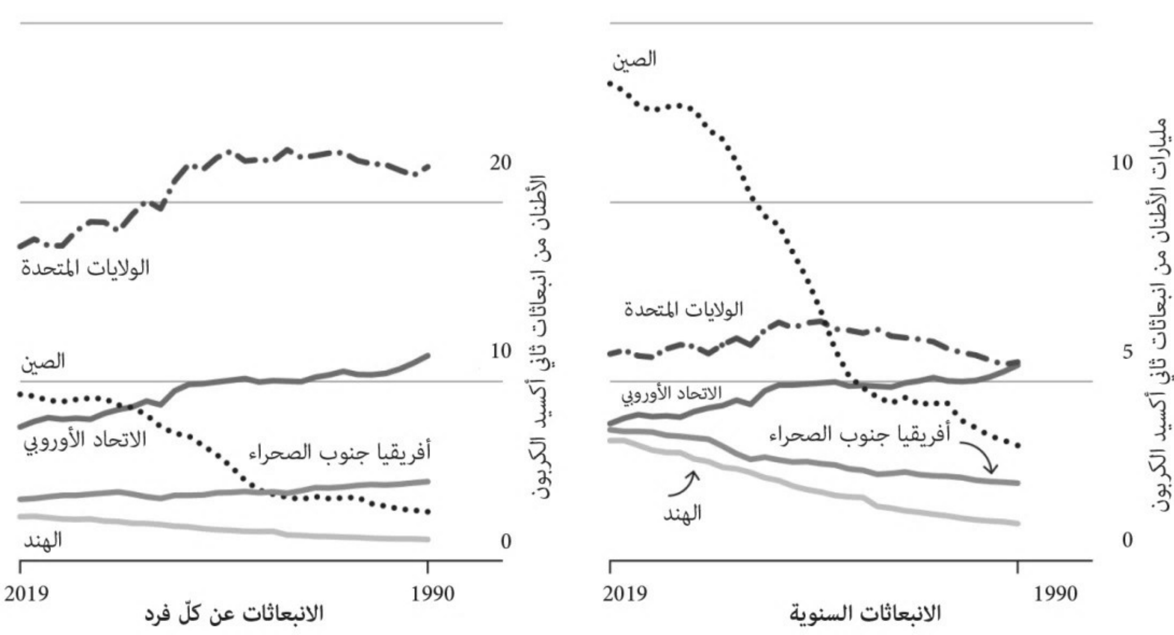
ولن نخلص إلى استنتاج مختلف حتى إذا ما احتسبنا تقلّبات أسعار النفط: فالناس في جميع أنحاء العالم يحتاجون يوميًا إلى 4 مليار غالون من منتج تكلفته أقل من تكلفة مشروب الدايت كوك.

ليس من قبيل المصادفة أن يكون الوقود الأحفوري بخس الثمن إلى هذا الحدّ: فهو متوافر بكثرة واستخراجه سهل، بحيث أُنشئت شركات عالمية ضخمة متخصّصة في حفر الآبار، ومعالجة المواد المستخرجة ونقلها، فضلًا عن تطوير اختراعات تساعد على إبقاء الأسعار منخفضة. ولا تعكس أسعاره الأضرار التي يتسبّب بها، ومدى مساهمته في التغيُّر المناخي، والتلوّث، والتدهور البيئي من خلال استخراجه وإحراقه. سنبحث في هذه المشكلة بشكل مفصّل في الفصل العاشر.

عند التفكير في حجم هذه المشكلة ونطاقها يصاب المرء بالدوار. ولكن لا داعي مطلقًا للإحساس بالعجز، لأننا سنتمكّن من وضع تصوُّر لكيفية خفض الانبعاثات الصافية إلى الصفر عبر تعميم استخدام المصادر النظيفة والمتجدّدة المتوافرة لدينا حاليًا إلى جانب الاختراقات الجديدة على مستوى الطاقة الخالية من الكربون. يكمن مفتاح الحل في جعل المقاربة النظيفة زهيدة الثمن بقدر التقنيات الحالية.

إلَّا أنه ينبغي لنا أن نسرع قليلًا لأن...

لا يتوقّف الأمر على البلدان الأكثر ثراءً فحسب. ينعم الناس في كافة الأماكن تقريبًا، بحياة أطول وأكثر صحة، في حين أنّ مستويات المعيشة تشهد ارتفاعًا مضطردًا. فالطلب على السيارات، والطرق، والمباني، والثلاجات، وأجهزة الكومبيوتر، وأجهزة التكييف يزداد، ويزداد معه الطلب على الطاقة اللازمة لتشغيلها كلها. ونتيجة ذلك، سيرتفع حجم الطاقة المستهلكة من كلّ فرد، ومعه حجم الغازات الدفيئة المنبعثة من جراء هذا الاستهلاك. ولا ريب أنّ بناء البنى التحتية اللازمة لتوليد كلّ هذه الطاقة، بما في ذلك توربينات الرياح، ألواح الطاقة الشمسية، المنشآت النووية، مرافق تخزين الكهرباء، وسوى ذلك، سيتسبّب بدوره في إطلاق مزيد من غازات الاحتباس الحراري.



مكان تركُّز الانبعاثات. بقيت الانبعاثات من الدول ذات الأنظمة الاقتصادية المتقدّمة كالولايات المتحدة وأوروبا مستقرّة أو تراجعت بعض الشيء ولكن عدّة دول نامية تشهد نموًا سريعًا. ومردّ ذلك إلى أنّ الدول الأكثر ثراءً وفّرت للدول الأكثر فقرًا الصناعات التي تعتمد على مصادر خارجية ذات انبعاثات شديدة (شعبة السكان في الأمم المتحدة؛ مجموعة روديوم).

ولا يتوقّف الأمر على الاستهلاك الإضافي للطاقة لكل فرد، بل أيضًا على ارتفاع عدد السكان. إذا يُتوقَّع أن يبلغ عدد سكان العالم بحلول نهاية القرن 10 مليارات نسمة، بحيث أنّ الجزء الأكبر من هذا الارتفاع سيحدث في المدن التي يُستخدم الكربون فيها بكثافة. تثير سرعة النمو الحضاري الحيرة إلى حدّ بعيد: فبحلول العام 2060، يُتوقَّع أن يتضاعف رصيد البناء العالمي، وهو مقياس يأخذ بالاعتبار عدد المباني وأحجامها. ما يعني أننا سنشهد ظهور مدينة بحجم مدينة نيويورك كلّ شهر تقريبًا على مدى 40 سنة، ومردّ ذلك بشكل أساسي إلى النمو في البلدان النامية كالصين والهند ونيجيريا.

إنها أخبار جيدة لكل من تشهد حياته تحسّنًا لافتًا، ولكنها سيئة على مستوى المناخ الذي نعيش كلنا فيه. فلنفترض أنّ حوالى 40 % من الانبعاثات في العالم مصدرها الأشخاص الأكثر ثراءً الذين يشكّلون 16 % من السكان. (من دون أن نحتسب الانبعاثات من المنتجات المصنوعة في مكان آخر والمستهلكة في البلدان الثرية). ماذا يمكن أن يحصل إذا ما اتّبع عدد أكبر من السكان نمط حياة مشابه لنمط حياة الـ 16 %؟ سيرتفع الطلب العالمي على الطاقة بمعدل 50 % بحلول العام 2050، كما ستزداد انبعاثات الكربون بالنسبة نفسها في حال لم يطرأ أيّ تغيير. وإذا ما اعتبرنا أنّ دول العالم الثرية قادرة اليوم على بلوغ نقطة الصفر بطريقة سحرية، ستواصل الأرجاء الأخرى من العالم إطلاق مزيد من الانبعاثات.



سيشهد العالم على ظهور مدينة بحجم مدينة نيويورك كلّ شهر تقريبًا خلال السنوات الأربعين المقبلة.

سيكون من غير الأخلاقي وغير العملي أن نسعى إلى منع من هم في أسفل السلم الاقتصادي، من تسلّقه. إذ لا يسعنا أن نتوقّع من الفقير أن يبقى فقيرًا لأنّ انبعاثات الدول الثرية من غازات الاحتباس الحراري كانت كثيفة؛ فهذا الأمر غير قابل للتنفيذ حتى إذا ما كنا نرغب فيه. وعلينا، عوضًا عن ذلك، أن نبذل قصارى جهدنا ليتمكّن الأشخاص ذوو الدخل المحدود من تسلّق السلم من دون الإسهام في تفاقم مشكلة المناخ؛ علينا أن نبلغ نقطة الصفر في أسرع وقت ممكن، مع الاستمرار في إنتاج مزيد من الطاقة ولكن من دون إضافة مزيد من الكربون إلى الغلاف الجوي.

لسوء الحظ....

التاريخ ليس إلى جانبنا. إذا ما وضعنا في الحسبان الفترات الزمنية الطويلة التي استغرقتها مراحل الانتقال السابقة، سيتبيّن لنا أنه علينا الانتظار طويلًا. ليست المرّة الأولى التي نُقدِم فيها على خطوة مماثلة، ونشهد انتقالًا من الاعتماد على أحد مصادر الطاقة إلى آخر، ولكنّ الأمر تطلّب عقودًا تلو العقود. (إن كتابَي ڤاكلاڤ سميل «تحوّلات الطاقة» و«حقائق وخرافات عن الطاقة» هما من أفضل الكتب التي قرأتها من هذا الموضوع، وأقتبس منهما هنا).

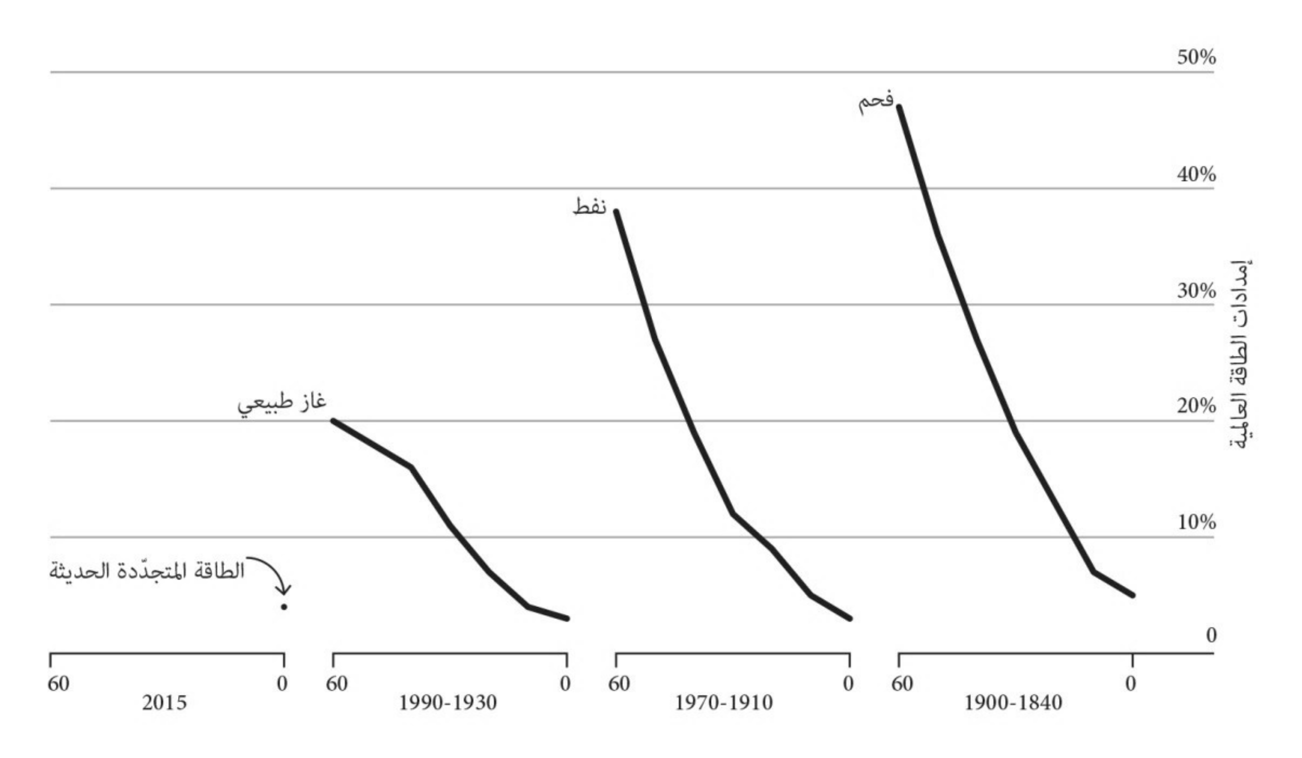


ما يزال كثير من المزارعين يستخدمون التقنيات القديمة، ما يشكّل أحد الأسباب الرئيسة لبقائهم أسرى الفقر. فهم يستحقّون تقنيات ومقاربات حديثة، لاسيّما وأنّ استخدام هذه الأدوات إنما يعني الآن إنتاج مزيد من غازات الاحتباس الحراري.

على مدى الجزء الأكبر من تاريخ البشرية، شكّلت عضلاتنا المصدر الأوّل للطاقة، وكذلك الحيوانات التي بمقدورها تأدية بعض المهام كجرّ المحاريث والنباتات التي يمكن إحراقها. وبحلول أواخر التسعينيات من القرن التاسع عشر، أصبح الوقود الأحفوري يمثّل نصف استهلاك العالم من الطاقة، مع العلم أنه لم يحلّ محلّ الممارسات القديمة في الصين إلَّا في الستينيات من القرن العشرين. ولم تشهد بعض المناطق في آسيا وأفريقيا جنوب الصحراء هذه المرحلة الانتقالية بعد.

لا بدَّ هنا من الانتباه إلى أنّ النفط قد أخذ وقتًا طويلًا ليشغل الجزء الأكبر من مصادر الطاقة. فقد باشرنا بإنتاج النفط التجاري في الستينيات من

القرن التاسع عشر. وبعد مضي نصف قرن، أصبح يمثل 10 % من إمدادات الطاقة في العالم، في حين لم يبلغ نسبة 25 % إلا بعد مرور 30 سنة.



استغرقت عملية التكيُّف مع مصادر الطاقة الجديدة وقتًا طويلًا. فاستهلاك الفحم ارتفع على مدى 60 سنة من 5 % من إمدادات الطاقة إلى 50 % تقريبًا. أما الغاز الطبيعي، فلم يتمكّن من تخطي نسبة 20 % خلال الفترة الزمنية نفسها (ڤاكلاڤ سميل «تحوّلات الطاقة»).

اتّبع الغاز الطبيعي المسار نفسه؛ ففي العام 1900، كان يشكّل 1 % من الطاقة العالمية، واستغرقت عملية ارتفاع هذه النسبة إلى 20 % سبعين سنة تقريبًا. غير أنّ الانشطار النووي اتّخذ مسارًا أسرع بكثير، بحيث ارتفع من الصفر إلى 10 % في غضون 27 سنة فقط.

يوضح الرسم البياني في الصفحة السابقة نسبة نمو مصادر الطاقة على مدى 60 سنة، بدءًا من تاريخ ظهورها. فما بين العامين 1840 و1900، ارتفع استهلاك الفحم من 5 % من الإمداد العالمي بالطاقة إلى حوالى 50 %. غير أنّ الغاز الطبيعي لم يتمكّن خلال السنوات الستين الممتدة بين العامين

1930 و1990، من تخطّي نسبة 20 %. باختصار، استغرقت عملية الانتقال الطاقي وقتًا طويلًا.

لم تكن مصادر الوقود السبب الوحيد في ذلك. فالتكيّف مع أنماط جديدة من المركّبات استغرق أيضًا وقتًا طويلًا. صحيح أنه بوشر العمل بمحرّك الاحتراق الداخلي في الثمانينيات من القرن التاسع عشر، ولكن كم من الوقت مضى قبل أن تتمكّن نصف الأسر المقيمة في المدن من الحصول على سيارة؟ من 30 سنة إلى 40 في الولايات المتحدة، ومن 70 سنة إلى 80 في أوروبا.

علاوة على ذلك، ترتكز عملية الانتقال الطاقي التي نحتاج اليوم إليها على عامل لم يكن ينطوي على أيّ أهمية من قبل. فقد تعوّدنا في الماضي الانتقال من مصدر إلى آخر لكون المصدر الجديد أقل ثمنًا وأكثر فعالية. وعندما توقّفنا عن إحراق كمّ كبير من الخشب وبدأنا باستعمال مزيد من الفحم، كنا نسعى للحصول على مزيد من الدفء والإنارة التي يمكن أن يوفّرها رطل الفحم مقارنة برطل الخشب.

فلنأخذ مثالًا أكثر حداثة في الولايات المتحدة: يُستخدم الغاز الطبيعي على نطاق أوسع من الفحم لتوليد الطاقة. لماذا؟ لأنّ تقنيات الحفر والتقنيات الحديثة تجعله أقل تكلفة. ما يعني أنّ الأمر يرتبط بالشؤون الاقتصادية وليس بالشؤون البيئية. في الواقع، يتوقف تصنيف الغاز الطبيعي على أنه أفضل أو أسوأ من الفحم على كيفية احتساب مكافِئات ثاني أكسيد الكربون. اعتبر بعض العلماء أنّ تأثير الغاز الطبيعي على التغيُّر المناخي يمكن أن يكون أسوأ من الفحم، بحسب كمية التسرّبات لدى معالجته.

وعلى مرّ الزمن، سيزداد استخدام مصادر الطاقة المتجدّدة بشكل تلقائي، مع أن هذا التطوّر لن يحدث بالسرعة المطلوبة، وسنرى في الفصل الرابع أنّ ذلك لن يكون كافيًا لنتمكن جميعًا من بلوغ نقطة الصفر، إلّا في حال ظهور اختراعات جديدة. علينا أن نمارس ضغطًا شديدًا لتفعيل عملية الانتقال بسرعة غير طبيعية، ما يطرح شيئًا من التعقيد، على صعيد السياسات العامة والتكنولوجيا، لم نضطرّ إلى مواجهته أبدًا من قبل.

لماذا يستغرق، على أيّ حال، الانتقال الطاقي وقتًا طويلًا؟ لأن...

معامل الفحم لا تشبه الشرائح الحاسوبية. سمعتَ حتمًا عن قانون مور (Moore's Law)، أو ما توقّعه غوردون مور في العام 1965 عن أنّ قوة المعالجات الدقيقة ستتضاعف كلّ سنتين. وتبيّن لاحقًا أنّ غوردون كان على حق، بحيث شكّل قانون مور أحد الأسباب الرئيسة في تنشيط صناعات البرمجيات الحاسوبية. فمع اكتساب المعالجات مزيدًا من القوة، أصبح بإمكاننا كتابة برامج أفضل، ما أسهم في زيادة الطلب على أجهزة الكومبيوتر، وتوفير الحافز اللازم للشركات المصنِّعة للأجهزة في مواصلة العمل على تحسين أجهزتها، التي دأبنا على تزويدها بمزيد من البرامج المحسّنة، وذلك ضمن حلقة من التفاعل الإيجابي.

بقي قانون مور ساري المفعول لأنّ الشركات واصلت بحثها عن طرق جديدة لتصنيع ترانزستورات، أو تلك المفاتيح الصغيرة التي تمدّ أجهزة الكومبيوتر بالطاقة، أصغر فأصغر حجمًا، لتتمكّن من حزم مزيد من الترانزستورات في كلّ شريحة. فعدد الترانزستورات المتوافر في شرائح

الكومبيوتر المصنوعة اليوم أكثر بمليون مرّة من عددها في تلك المصنوعة في العام 1970، ما جعلها أقوى بمليون مرة.

من الممكن الإشارة في بعض الأحيان إلى قانون مور بوصفه ذريعة للتفكير في إمكانية إحداث تطوّر أساسي من النوع نفسه على مستوى الطاقة. إذا كانت شرائح الكومبيوتر قابلة لهذا الحجم من التطوّر السريع، ألا يمكن للسيارات وألواح الطاقة الشمسية أن تحذو حذوها؟

لسوء الحظ أنّ ذلك غير ممكن، لأنّ شريحة الكومبيوتر خارجية، ويمكن تحسينها من خلال إيجاد سبل لملئها بمزيد من الترانزستورات، لكن لا تتوافر أيّ اختراقات مماثلة لخفض كمية البنزين التي تستهلكها السيارات إلى مليون مرّة أقل. لنفترض أنّ سيارة فورد من طراز T الأولى التي أنتجها هنري فورد عام 1908 كانت تستهلك غالونًا لكل 21 ميلًا، في حين أنّ السيارة الهجينة الأبرز حاليًا في السوق تستهلك غالونًا لكل 58 ميلًا، ما يعني أنّ استهلاك الوقود تحسّن في ما يزيد على قرن من الزمن إلى أقلّ من الثلث.

كذلك لم تتحسّن ألواح الطاقة الشمسية مليون مرة أكثر. عند ظهور الخلايا الشمسية للسليكون البلّوري في السبعينيات من القرن الماضي، نجحت في تحويل 15 % من أشعة الشمس التي ترتطم بها إلى طاقة. صحيح أنّ نسبة التحويل قد أحرزت تقدّمًا وبلغت 25 %، إلَّا أنها لا تتماشى كليًا مع قانون مور.

تعتبر التكنولوجيا من الأسباب التي تحول دون إمكانية إحداث تطوّر سريع على مستوى الطاقة على غرار التطوّر الذي شهدته صناعة أجهزة الكومبيوتر. كما علينا ألَّا ننسى أنّ حجم قطاع الطاقة ضخم جدًا، ويوازي 5

تريليون دولار في السنة، ما يجعله من أكبر الأعمال التجارية على الكرة الأرضية. ولا ريب أنّ قطاعًا بهذا الحجم والتعقيد سيقاوم أيّ تغيير، خاصة أننا أسهمنا، سواء عن قصد أو عن غير قصد، بإيجاد حالة من الجمود ضمن صناعة الطاقة.

في ما يتعلّق بالسياق، علينا أن نستعرض معًا كيفية عمل قطاع البرمجيات. إذْ لا تتوافر وكالة تنظيميّة يتعيّن عليها المصادقة على منتجاتِك. وفي حال قمتَ بإصدار برنامج ينطوي على بعض العيوب، لن يتسبّب ذلك في فتور حماسة الزبائن، لا بل على العكس سيزوّدونك بالتعليقات اللازمة لتحسين البرنامج، شرط أن تكون الفائدة الصافية التي تقدّمها مرتفعة بما فيه الكفاية. وغالبًا ما تكون التكلفة التي تكبّدتها مباشرة، بحيث أنّ التكلفة الهامشية لتصنيع مزيد من المنتج، بعد أن تكون قد انتهيت من تطويره، تصبح قريبة من الصفر.

فلنقارن ذلك بصناعة الدواء واللقاحات. إنّ إطلاق دواء جديد في السوق أصعب من إطلاق برنامج جديد. وهذا أمر بديهي، إذا ما أخذنا بالاعتبار أنّ الدواء الذي يمكن أن يضرّ بالناس أسوأ بكثير من تطبيقٍ فيه بعض العيوب. ويحتاج الدواء أيضًا إلى بضع سنوات من البحوث الأساسية، والتطوير، والموافقة التنظيمية، والاختبار وسواها من الخطوات اللازمة قبل أن يصبح متاحًا للمريض. ولكن فور الحصول على حبة دواء مفيدة، يصبح تصنيع مزيد منها قليل التكلفة.

فلنقارن الصناعتين المذكورتين بصناعة الطاقة. لا بُدَّ أولًا من الإشارة إلى التكاليف الرأسمالية التي لا تنتهي. فإذا أنفقتَ مليارًا لبناء معمل للفحم، لن يكون بناء معمل ثانٍ أقل تكلفة. ولن يرضى المستثمرون بإنفاق هذا المبلغ

إلَّا في حال التأكّد من استمرارية عمل المعمل على مدى 30 سنة أو أكثر. وفي حال تمكّن أحدٌ بعد مرور 10 سنوات على البدء بتشغيل المعمل من اختراع تقنية أفضل، لن تقفل المعمل بهذه البساطة وتبني معملًا جديدًا، أو لن تُقدِم على ذلك على الأقل من دون سبب وجيه، كضرورة تسديد ديون مالية أو عملًا بأنظمة حكومية ملزِمة.

ولا يتساهل المجتمع كثيرًا مع أيّ مخاطر متّصلة بقطاع الطاقة ولأسباب مفهومة. فنحن نطالب بطاقة كهربائية موثوقة بمعنى أنه يستحسن أن تضاء المصابيح في كلّ مرة يضغط فيها الزبون على الزر. كما وأنّ الكوارث تثير قلقنا، والدليل على ذلك هو أنّ الشواغل الخاصة بالسلامة أدّت إلى توقّف أعمال البناء في المنشآت النووية في الولايات المتحدة. وبعد الأحداث التي وقعت في جزيرة الثلاثة أميال وتشرنوبيل، اكتفت أميركا ببناء منشأتين نوويتين، على الرغم من أنّ عدد الأشخاص الذين يَهلِكون سنويًا نتيجة التلوّث الناجم عن الفحم يفوق عدد الأشخاص الذين لقوا مصرعهم في الحوادث النووية مجتمعة.

لا شكّ في أنّ الدوافع التي تحثّنا على التمسّك بما نعرفه، على الرغم من أنّ ما نعرفه يقتلنا، كثيرة ومفهومة تمامًا. لذا، علينا أن نغيّر هذه الحوافز لنتمكّن من بناء نظام للطاقة ينطوي على كلّ الميزات التي نطمح إليها (آمن وموثوق) وخالٍ من كلّ الميزات التي لا نرغب بها (قائم على الوقود الأحفوري).

ولكن ذلك لن يكون سهلًا لأنّ..

قوانيننا وأنظمتنا بالية. صحيح أنّ عبارة «سياسة الحكومة» لا تثير جنون الناس، ولكن السياسات وما تشمله من قواعد ضريبية وأنظمة بيئية، تترك

تأثيرًا لافتًا على سلوك الناس والشركات. لن نتمكّن من بلوغ نقطة الصفر إلَّا إذا تعاملنا مع هذا الأمر بشكل صحيح، ونحن ما نزال في بداية المسيرة. (إنني أتحدّث هنا عن الولايات المتحدة، ولكن ذلك ينطبق أيضًا على دول أخرى عدّة).

تكمن المشكلة الرئيسة في أنّ كثيرًا من القوانين والأنظمة البيئية السارية المفعول حاليًا لا تراعي من حيث صياغتها التغيُّر المناخي. فقد وُضعت لحلّ مشكلات أخرى، ونحن نحاول اليوم استخدامها لخفض الانبعاثات. ولنا أيضًا أن نحاول خلق ذكاء اصطناعي عبر استخدام حاسوب مركزي يعود إلى ستينيات القرن الماضي.

فالقانون الأميركي المعروف بـ «قانون الهواء النظيف» على سبيل المثال، وهو أفضل قانونٍ متعلّقٍ بجودة الهواء، بالكاد يتضمن إشارة إلى غازات الاحتباس الحراري. وهذا ليس مستغربًا لأنّ القانون المذكور صدر في الأصل في العام 1970 من أجل خفض المخاطر الصحّية المترتّبة عن تلوّث الهواء، وليس لمعالجة مشكلة ارتفاع درجات الحرارة.

وبوسعنا الحديث أيضًا عن معايير الاقتصاد في استهلاك الوقود المعروفة بـ CAFE أو معدل استهلاك الوقود للشركات والتي اعتُمدت في سبعينيات القرن الماضي في ظلّ الارتفاع السريع والمفاجئ في أسعار النفط وحاجة الأميركيين إلى سيارة أكثر كفاءة في استهلاك الوقود. صحيح أنّ الكفاءة في استهلاك الوقود أمر جيد، إلا أننا نحتاج اليوم إلى استخدام مزيد من السيارات التي تعمل بالطاقة الكهربائية، ومعايير CAFE لا تفي بالغرض على هذا الصعيد لأنها ليست مصمّمة من أجل هذه الغاية.

لا تتوقّف المشكلة على السياسات البالية فحسب؛ فمقاربتنا للمناخ والطاقة تتغيّر مع كلّ دورة انتخابات رئاسية، بحيث تشهد واشنطن كلّ أربع سنوات أو ثمانٍ وصول إدارة جديدة حاملة معها أولوياتها الخاصة المتعلّقة بالطاقة. لا يجوز القول إنّ تغيير الأولويات أمر خطأ بحدّ ذاته، لكونه يحدث على مستوى الدوائر الحكومية كافة عند وصول إدارة جديدة، إلَّا أنه يرهق الباحثين الذين يعتمدون على الحكومة التي تمنح الأموال وتؤمّن متعهدي المشاريع الذين يعتمدون بدورهم على الحوافز الضريبية. لذا، من الصعب تحقيق تقديم فعلي إذا ما وجدتَ نفسك مرغمًا، كلّ بضع سنوات، على وقف العمل على أحد المشاريع، لتباشر بمشروع آخر من الصفر.

وتثير دورة الانتخابات الرئاسية أيضًا شيئًا من الارتياب في الأسواق الخاصة. فالحكومة تقدّم مجموعة من التخفيضات الضريبية المصمّمة خصيصًا لحثّ شركات أكثر على تحقيق إنجازات جديدة في حقل الطاقة النظيفة. غير أنّ الاستفادة منها محدودة لأنّ الابتكارات في حقل الطاقة صعبة جدًا ومن الممكن أن تستغرق عدّة عقود قبل أن تأتي بأي ثمار. يمكن العمل على فكرة معيّنة لعدة سنوات، لتأتي فجأة إدارة جديدة وتقضي على الحوافز التي كنت تعتمد عليها.

فالخلاصة هي أنّ سياساتنا الحالية الخاصة بالطاقة لن تترك تأثيرًا كبيرًا على الانبعاثات المستقبلية. يمكن قياس تأثيرها إذا ما أضفنا إلى المجموع معدل تراجع الانبعاثات بحلول عام 2030 نتيجة السياسات الفدرالية والخاصة بالدولة السارية المفعول حاليًا. على العموم، سيبلغ مقدار التراجع حوالى 300 مليون طن، أو حوالى 5 % من الانبعاثات المتوقعة في الولايات المتحدة بحلول عام 2030. وفي حين أنه لا يمكن الاستخفاف بهذه النسبة، إلا أنها غير كافية لنتمكن من بلوغ نقطة الصفر.

هذا لا يعني أنه ليس باستطاعتنا وضع سياسات من شأنها أن تحدث فرقًا كبيرًا على مستوى الانبعاثات. فمعايير CAFE وقانون الهواء النظيف نجحت في تأدية الغرض الذي وضعت في سبيله، بحيث أصبحت السيارات أكثر كفاءة والهواء أكثر نظافة. وعلى الرغم من أنه توافر بعض السياسات الفعّالة المتعلّقة بالانبعاثات حاليًّا، إلَّا أنها غير مترابطة ولا تُعدّ كافية لإحداث فرق حقيقي على مستوى مشكلة المناخ.

إنني مؤمن بقدرتنا على القيام بذلك على الرغم من المشقّات التي سنواجهها. يتمثّل أحد الأسباب في كون محاولة تعديل القوانين القائمة أكثر سهولة من سن قوانين رئيسة جديدة. فتطوير أيّ سياسة جديدة، والحصول على إسهامات عامة، والتعامل مع النظام القضائي في حال ظهور أيّ مشكلة قانونية وتطبيقها يستغرق كثيرًا من الوقت. ناهيك عن حقيقة أنّ...

الإجماع على مشكلة المناخ غير متوافر على نطاق واسع. لا أتحدّث عن 97 % من العلماء الذين يوافقون على أنّ التغيُّر المناخي ناجم عن الأنشطة البشرية، بل عن تلك المجموعة الصغيرة ذات الصوت العالي، التي تتمتّع في بعض الحالات بنفوذ سياسي، وغير المقتنعة بالآراء العلمية.

فمن يتقبّل فكرة التغيُّر المناخي، قد لا يقتنع بالضرورة بأهمّية استثمار مبالغ كبيرة من المال على الاختراقات التي من شأنها التصدّي له. ومن البديهي مثلًا أن تتعالى بعض الأصوات القائلة مثلًا: «*نعم، المناخ يتغيّر، ولكنّ الأمر لا يستحق إنفاق كثيرٍ من المال لمحاولة وقف التغيُّر المناخي أو التكيّف معه. علينا، عوضًا عن ذلك، أن نعطي الأولوية لقضايا أخرى تترك تأثيرًا أكبر على رفاه البشر، كالصحة والتعليم*».

سأردّ على تلك الأصوات قائلًا: «إذا لم نبادر بشكل سريع إلى اتّخاذ الخطوات اللازمة لبلوغ الصفر، من المتوقَّع أن يشهد معظم الناس في حياتهم على أمور سيئة (وربما الكثير منها)، كما يُتوقَّع أن يشهد جيل بكامله على أمور سيئة جدًا. وفي حين أنّ التغيُّر المناخي لا يُصنَّف على أنه تهديد وجودي للبشرية، سيُسهم في زيادة أوضاع معظم الناس سوءًا، وسيجعل الناس الأشد فقرًا أكثر فقرًا. وستستمر الأمور في التدهور إلى أن نتوقّف عن إضافة مزيد من غازات الاحتباس الحراري إلى الغلاف الجوي، ما يعني أنّ الأمر يستحق أن نعطيه الأولوية تمامًا كالصحة والتربية.

غالبًا ما تتعالى أصوات أخرى أيضًا قائلة: «*نعم، التغيُّر المناخي حقيقة لا يمكن نكرانها، وتأثيراته ستكون سيئة، نحن نملك كلّ ما يلزم لإيقاف هذا التغيُّر، من الطاقة الشمسية، وطاقة الريح، والطاقة المائية وسوى ذلك. كلّ ما في الأمر هو أننا في حاجة إلى التصميم على تعميم استخدامها*».

سأقدّم في الفصول 4 إلى 8 شرحًا عن الأسباب التي تجعلني لا أصدّق هذا الاعتقاد. فنحن نملك بعض الأدوات التي نحتاج إليها، ولكننا بعيدون عن امتلاكها كلّها.

تأتي صعوبة التعاون على المستوى العالمي، والتي لا يمكن لأحد أن ينكرها، من التحديات الأخرى التي يواجهها التوصّل إلى إجماع على قضية المناخ. فمن الصعب بمكان إقناع كلّ دولة في العالم بالموافقة على أيّ شيء، لاسيّما عندما تطلّب منها تكبّد تكاليف إضافية، كالنفقات المترتّبة عن الحدّ من انبعاثات الكربون. ولن توافق أيّ دولة على دفع الأموال للتخفيف من انبعاثاتها إلا في حال اتّخذت جميع البلدان خطوة مماثلة أيضًا. لذا، اعتبرت اتفاقية باريس، التي وَقّعت بموجبها أكثر من 190 دولة على الحدّ من انبعاثاتها، إنجازًا

كبيرًا، ليس لأن الالتزامات الحالية ستُحدث تحولًا هائلًا على مستوى الانبعاثات، بحيث أنّ الانبعاثات ستنخفض، في حال تقيّد الجميع بالتزاماته، بمعدل 3 مليارات إلى 6 مليارات طن بحلول العام 2030، أيّ أقل من 12 % من مجمل الانبعاثات اليوم، فحسب، بل لأنها نقطة انطلاق هامة أثبتت أنّ التعاون العالمي ممكن. أما انسحاب الولايات المتحدة من اتفاقية باريس للعام 2015، والتي وعد الرئيس المنتخب جو بايدن بالعودة عنه، فتجسّد صعوبة الحفاظ على الاتفاقات العالمية التي توازي صعوبة التوصّل إليها في الأساس.

باختصار، علينا أن نحقّق إنجازًا عملاقًا لم يسبق أن حقّقناه، وبسرعة لم يسبق لها مثيل. غير أن ذلك يقتضي الإتيان باختراقات جديدة كثيرة علمية وهندسية، إضافة إلى التوصّل إلى إجماع غير موجود حاليًا، ووضع سياسات عامة لحثّ عملية التحوّل التي لا يمكن أن تحدث بطريقة أخرى. كما يجب على أنظمة الطاقة التوقف عن القيام بكافة الأمور التي لا نرغب فيها والتركيز على الأمور التي نرغب فيها، وبعبارة أخرى، عليها أن تتغيّر بالكامل وتبقى على حالها في آن.

ولكن لا داعي لليأس. بوسعنا أن نفعل ذلك من خلال الأفكار الكثيرة المتوافرة بهذا الشأن، أفكار بعضها واعد أكثر من بعضها الآخر. وسأقدّم في الفصل التالي شرحًا عن كيفية التمييز بينها.

<u>الفصل الثالث</u>

خمسة أسئلة تُطرح
في الحوارات كافة بشأن المناخ

عندما بدأتُ باكتساب المعلومات عن التغيُّر المناخي، كنت أواجه باستمرار حقائق من الصعب عليّ فهمها. فالأرقام كانت ضخمة جدًا ومن الصعب على أحد تصوّرها. من يعرف ما تبدو عليه 52 مليار طن من الغازات؟

ومن المشكلات الأخرى التي اعترضتني، خلوّ بعض البيانات التي كنت أطّلع عليها من أيّ سياق. فقد قرأت في أحد المقالات أنّ أحد البرامج المعنية بالاتجار بالانبعاثات في أوروبا نجح في خفض البصمة الكربونية لقطاع الطيران بمعدل 17 مليون طن في السنة. لا ريب أنّ 17 مليون طن هو رقم كبير جدًا، ولكن هل هو كذلك فعلًا؟ كم تبلغ النسبة التي يمثّلها من المجموع؟ لم يُشِر المقال إلى هذا الأمر، واللافت هو أنّ هذا النوع من الإسقاط كان شائعًا إلى حدّ مستغرب.

تمكّنتُ في نهاية المطاف من بناء إطار ذهني للأمور التي تعلّمتها. ما سهّل علي فهم الأعداد المصنّفة على أنها كبيرة وتلك المصنّفة على أنها صغيرة، وحجم تكلفة بعض الأشياء، كما ساعدني على فرز أكثر الأفكار الواعدة. وتبيّن لي أنّ هذه المقاربة هي الأكثر جدوى في الموضوعات الجديدة كافة التي كنت أتعمّق فيها، بحيث أحاول في البداية رؤية الصورة كاملة لأتمكّن من تحديد السياق اللازم لفهم المعلومات الجديدة. ما يضاعف أيضًا احتمال أن أتذكّرها.

تكمن أهمية إطار الأسئلة الخمسة التي وضعتها في كونه ما يزال مفيدًا حتى اليوم، سواء خلال الاستماع إلى طرح استثماري من إحدى شركات الطاقة أو لدى التحدّث مع صديق لي خلال حفل شواء في الفناء الخلفي للمنزل. من الممكن أن تقرأ في وقت ما قريبًا مقالة افتتاحية تتضمّن اقتراحًا حول إصلاح المناخ، وستسمع حتمًا بعدها رجال السياسة يروّجون لخططهم الخاصة بالتغيُّر المناخي. قد تتسبّب هذه الموضوعات المعقّدة بتشويش ذهني؛ وحده إطار الأسئلة الخمسة سيساعدك على تخطّي تلك الضوضاء.

1. ما النسبة من الـ 52 مليار طن التي نتحدّث عنها؟

عندما أقرأ مقالًا عن كميات غازات الاحتباس الحراري، أقوم بعملية حسابية سريعة، لأحوّلها إلى نسبة من المجموع الإجمالي البالغ 52 مليار طن. تعتبر هذه الطريقة الحسابية، بالنسبة إليّ، منطقية أكثر من المقارنات الأخرى التي نقع عليها في أغلب الأحيان، ومنها على سبيل المثال «هذه الأطنان الكثيرة توازي وضع سيارة واحدة خارج الخدمة». من منا يعلم، في المقام الأوّل، كم يبلغ عدد السيارات على الطرقات؟ أو كم عدد السيارات التي ينبغي لنا وضعها خارج الخدمة للتصدّي للتغيُّر المناخي؟

أفضّل من جهّتي ربط الأمور كافة بالهدف الرئيس المتمثّل في التخلّص من 52 مليار طن سنويًا. فلنأخذ على سبيل المثال قطاع الطيران والبرنامج الذي أتيتُ على ذكره في بداية هذا الفصل والرامي إلى التخلّص من 17 مليون طن سنويًا. إذا قسمنا هذا العدد على 52 مليارًا وحوّلناه إلى نسبة، سيتبيّن لنا أنّ الانخفاض يمثّل 0.03 % من الانبعاثات السنوية العالمية.

هل يُعتبر هذا الإسهام مجديًا؟ يتوقّف الأمر على الإجابة عن السؤال التالي: هل سترتفع هذه النسبة أم ستبقى على حالها؟ في حال كان هذا البرنامج الذي تمكّن عند إطلاقه من خفض الانبعاثات بمقدار 17 مليون طن سنويًا ينطوي على كلّ الإمكانات اللازمة لخفضها بمعدل أكبر، فهذا أمر جيد؛ ولكن إذا كان البرنامج مصمّمًا للبقاء إلى ما لا نهاية ضمن هذه النسبة، فذلك أمر مختلف. لسوء الحظ، لا نملك إجابة واضحة في هذا الشأن (لم أتمكّن من تحديد التاريخ الذي قرأتُ فيه عن برنامج الطيران). ولكنه سؤال مهم ولا بُدّ من طرحه.

في «بريكثرو إينيرجي»، بقي التمويل مقتصرًا على التكنولوجيات القادرة على التخلّص من 500 مليون طن في السنة، في حال النجاح في تطبيقها بشكل كامل، علمًا أنّ ذلك لا يشكّل سوى 1 % من الانبعاثات العالمية. فالتكنولوجيات غير القادرة على تخطّي الواحد في المئة لن تنافس على الموارد المحدودة المتوافرة لدينا لبلوغ نقطة الصفر. ومن الممكن استغلالها لأسباب كثيرة ومختلفة، ولكن من المؤكّد أنّ خفض الانبعاثات بشكل ملحوظ لن يكون أحدها.

بالمناسبة، من الممكن أن تكون قد وقعت على ما يشير إلى جيغا طن من غازات الاحتباس الحراري: الجيغا طن هو مليار طن (أو 10^9 طن في حال

كنت تفضّل الترقيم العلمي). أعتقد أنّ معظم الناس لا يدركون بشكل بديهي ما معنى جيغا طن من الغاز، كما وأن التخلّص من 52 جيغا طن يبدو أسهل من 52 مليار طن، على الرغم من أننا نتحدّث عن الكمية نفسها. من جهتي، أفضل استعمال مليار طن.

نصيحة مفيدة: كلما قرأت عن أطنان من غازات الاحتباس الحراري، حوِّل العدد إلى ما يكافئه من نسبة مئوية من الـ 52 مليارًا، التي تمثّل الإجمالي السنوي الحالي للانبعاثات (من مكافِئات ثاني أكسيد الكربون).

2. ما هي الخطط المعنية بالإسمنت؟

إذا كنت تنوي طرح خطة شاملة لمواجهة التغيُّر المناخي، عليك أن تأخذ بالاعتبار أنّ كلّ الأنشطة التي يمارسها البشر تتسبّب بانبعاث غازات الاحتباس الحراري. يشدّ بعض المجالات كالكهرباء والسيارات، الانتباه كثيرًا، إلّا أنها لا تشكّل سوى نقطة البداية. إذ تمثّل سيارات النقل الخاص أقل من نصف إجمالي الانبعاثات المترتّبة عن النقل، أيّ ما يقرب من 16 % من إجمالي الانبعاثات في العالم، في حين تمثّل صناعة الإسمنت والفولاذ 10 % منه. ما يعني أنّ السؤال الذي أطرحه «ما هي الخطة المعنية بالإسمنت؟» هو مجرّد رسالة تذكيرية مختزلة، في حال كنت تنوي وضع خطة شاملة لمعالجة التغيُّر المناخي، لتضع في الحسبان أمورًا أخرى أهم من السيارات والكهرباء إلى حدٍّ كبير.

في ما يلي تصنيف تفصيلي للأنشطة البشرية كافة التي تولّد غازات الاحتباس الحراري، مع أنّ هذه الفئات بالتحديد غير مستخدمة من كلّ

الأشخاص. ولكنني وجدت هذا التصنيف التفصيلي مفيدًا للغاية كما أنّ فريق العمل في «بريكثرو إينيرجي» يستخدمه [6].

إنّ بلوغ نقطة الصفر يعني تصفير كلّ من هذه الفئات:

كم تبلغ نسبة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري عند ممارستنا الأنشطة التالية؟	
صناعة الأشياء (إسمنت، فولاذ، بلاستيك)	29 %
التوصيل (بالكهرباء)	26 %
زراعة النباتات وتربية الماشية والحيوانات	22 %
التنقّل (طائرات، شاحنات، سفن)	16 %
الحفاظ على الدفء والبرودة (تدفئة، تكييف، تبريد)	7 %

من الممكن أن تُفاجأ لدى معرفتك أنّ توليد الطاقة الكهربائية لا يشكّل سوى ربع إجمالي الانبعاثات. أعترف بأنني فوجئت لدى معرفتي ذلك: فمعظم المقالات التي قرأتها عن التغيُّر المناخي تركّز على توليد الطاقة، ما جعلني أفترض بأنها السبب الأساسي.

لكنّ الخبر السار هو أنّ الطاقة الكهربائية التي تشكّل 26 % فقط من المشكلة، قد تُمثّل أكثر من 26 % من الحلّ. فبفضل الكهرباء النظيفة، بوسعنا أن نحيد عن إحراق الهيدروكربونات (المسبّبة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون) من أجل الوقود. تخيّل سيارات وحافلات تعمل على الطاقة الكهربائية، وأنظمة التبريد والتدفئة الكهربائية في منازلنا وأماكن عملنا، ومصانع تستخدم الطاقة

بكثافة وتستبدل بالغاز الطبيعي الطاقة الكهربائية لتصنيع منتجاتها. صحيح أنّ الطاقة النظيفة لن تتمكّن بمفردها من إيصالنا إلى نقطة الصفر، إلَّا أنها ستشكّل خطوة أساسية.

نصيحة مفيدة: تذكر بأن الانبعاثات مترتّبة عن خمسة أنشطة مختلفة، وعلينا أن نجد حلولًا لكل منها.

3. كم يبلغ حجم الطاقة التي نتحدّث عنها؟

غالبًا ما يُطرح هذا السؤال في المقالات التي تتناول موضوع الكهرباء، حيث يشير بعضها إلى أنّ محطات الطاقة الجديدة قادرة على توليد 500 ميغاواط. هل هذا العدد كبير؟ وما هو الميغاواط؟

يوازي كلّ ميغاواط مليون واط، المقدّر بجول واحد في الثانية. في ما يتعلّق بأغراض هذا الكتاب، لا يهمّنا معرفة تفاصيل الجول باستثناء أنه يمثّل وحدة لقياس الطاقة. المهم أن تتذكّر أنّ الواط هو مقدار الطاقة في الثانية. انظر إلى الأمر من هذه الزاوية: إذا كنتَ ترغب في قياس معدل تدفق المياه من الصنبور في مطبخك، بوسعك أن تحسب عدد الأكواب التي تُملأ في كلّ ثانية. يمكن اتّباع الطريقة نفسها لقياس التيار الكهربائي، بحيث بوسعك قياس تدفّق الطاقة بدلًا من المياه. ما يعني أنّ الواط يوازي «عدد الأكواب في الثانية».

والواط صغير جدًا بحيث أنّ المصابيح المتوهّجة الصغيرة قد تستهلك 40 منها، ومجفّف الشعر 1500 منها. تولّد محطة الطاقة مئات الملايين من الواط، ويبلغ عدد الواط الذي تولّده أكبر محطة للطاقة في العالم، محطة سدّ الممرات الثلاثة في الصين، حوالى 22 مليار واط (لا تنسى أنّ تحديد الواط

يتضمّن عبارة «في الثانية»، ما يعني أن لا وجود لمصطلح واط في الثانية أو واط في الساعة، بل واط فحسب).

وبالنظر إلى أن هذه الأرقام ترتفع بسرعة، يستحسن استخدام الاختزال؛ فالكيلوواط يوازي 1000 واط، والميغاواط مليون واط، والجيغاواط يوازي مليار واط. غالبًا ما نقع على هذا الاختزال في النشرات الإخبارية، لذا قرّرت أن استعملها بدوري.

يُظهر الرسم البياني في الصفحة التالية بعض المقارنات التي تساعدني في عدم الخلط بينها.

من البديهي أن نلاحظ تباينًا كبيرًا ضمن هذه الفئات، على مدار اليوم وعلى مدار السنة؛ فبعض المنازل تستهلك الطاقة الكهربائية أكثر من سواها، بحيث أن مدينة نيويورك مثلًا تستهلك ما يزيد عن 12 جيغاواط بحسب المواسم؛ أما طوكيو التي يفوق عدد سكانها عدد سكان نيويورك، فتحتاج إلى 23 جيغاواط بشكل وسطي، ولكنها قادرة على استهلاك أكثر من 50 جيغاواط في خلال فصل الصيف.

ما هو مقدار الطاقة المستهلكة؟

العالم	5,000 جيغاواط
الولايات المتحدة	1,000 جيغاواط
مدينة متوسّطة الحجم	جيغاواط
مدينة صغيرة	ميغاواط

معدل استهلاك المنزل الأميركي	كيلو واط واحد

لنفترض أنك في حاجة إلى توفير الطاقة لمدينة متوسّطة الحجم يبلغ معدل استهلاكها جيغاواط واحد. هل عليك أن تبني محطة لتوليد الطاقة بقوة جيغاواط واحد وتوفّر للمدينة كلّ حاجاتها من الطاقة الكهربائية؟ ليس بالضرورة. تتوقّف الإجابة على مصدر الطاقة الذي ستستخدمه، لأنّ بعضها متقطّع أكثر من سواها. لنفترض مثلًا أنّ محطة نووية تعمل 24 ساعة في اليوم قد أقفلت أبوابها لإجراء أعمال الصيانة والتزوّد بالوقود. ولكنّ الرياح لا تهبّ باستمرار والشمس لا تشرق باستمرار، ما يعني أنّ القدرة الفعلية للمحطات التي تعمل بطاقة الريح وألواح الطاقة الشمسية ستكون أقل بنسبة 30 %، وستولّد وسطيًا 30 % من الجيغاواط المطلوب. ما يعني أيضًا أنك ستحتاج إلى توفير الإمدادات من مصادر أخرى لتأمين الجيغاواط المطلوب بشكل موثوق.

نصيحة مفيدة: عند سماعك عبارة «كيلوواط» تخيّل «منزلًا». وعبارة «جيغاواط» تخيّل «مدينة»، ومئة أو أكثر من الجيغاواط، تخيّل «دولة شاسعة».

4. كم يبلغ حجم المساحة المطلوبة؟

يحتاج بعض مصادر الطاقة إلى مساحة أكبر من سواها. تتّسم هذه المسألة بأهمية خاصة لأن الأراضي والمياه المتاحة ليست كثيرة كما وأنّ الفضاء لا يدخل في الحسبان، مع أنه عنصر مهم وعلينا أن نوليه أهمية أكبر.

تشكّل كثافة الطاقة الرقم ذات الصلة. فهي تحدِّد حجم الطاقة التي يمكن الحصول عليها من مصادر مختلفة ضمن مساحة معينة من الأرض (أو المياه، في حال استعمال عنفة (تربينة) الرياح في المحيط). تقاس هذه الكثافة بالواط لكل متر مربع. وفي ما يلي بعض الأمثلة على ذلك:

كم يبلغ حجم الطاقة التي يمكن توليدها لكل متر مربع؟	
مصدر الطاقة	واط لكل متر مربع
الوقود الأحفوري	10,000-500
طاقة نووية	1,000-500
طاقة شمسية [7]	20-5
الطاقة المائية (سدود)	20-5
طاقة الرياح	2-1
الخشب وسواه من الكتل الحيوية	أقل من 1

تجدر الإشارة إلى أنّ كثافة الطاقة المتوافرة في الطاقة الشمسية هي أعلى بكثير من تلك المتوافرة في طاقة الرياح. فإذا أردت أن تستخدم الرياح عوضًا عن الطاقة الشمسية، ستحتاج إلى مساحة أكبر من الأرض في حال تساوي الأشياء الأخرى كلها. هذا لا يعني أنّ طاقة الرياح سيئة وطاقة الشمس جيدة، بل يعني أنّ لكل منهما شروطه التي ينبغي أن تشكل جزءًا من المحادثة.

نصيحة مفيدة: في حال أخبرك أحد بأن بعض مصادر الطاقة (الرياح، الشمس، الطاقة النووية، أو سوى ذلك) يمكن أن توفّر كافة إمدادات الطاقة التي يحتاج العالم إليها، حاول أن تعرف المساحة المطلوبة لتوليد هذه الطاقة.

5. كم ستبلغ التكلفة؟

في ظلّ التجاهل التام للأضرار الطويلة الأمد، يستمرّ العالم في إطلاق الانبعاثات من غازات الاحتباس الحراري لأنّ تقنيات توليد الطاقة الحالية هي من الخيارات المتاحة الأقل تكلفة. لذا، لا يمكن التحوّل من التقنيات المسبّبة للانبعاثات الكربونية «غير النظيفة» المستخدمة في قطاع الطاقة العملاق إلى تقنيات الصفر انبعاثات من دون تكبّد أيّ نفقات ذات صلة.

كم تبلغ قيمتها؟ يمكن في بعض الحالات تسعير الفرق بشكل مباشر. في حال توفّر لديك مصدر غير نظيف وآخر نظيف لخط الإنتاج نفسه، سيكون من السهل عليك مقارنة السعر.

تتميّز معظم الحلول الخالية من الكربون بكونها أغلى ثمنًا من نظيراتها القائمة على الوقود الأحفوري. ومردّ ذلك جزئيًا إلى كون أسعار الوقود الأحفوري لا تعكس الضرر البيئي الذي تتسبّب به، فتبدو بالتالي أقل ثمنًا من البدائل الأخرى (سأتطرّق إلى مشكلة تحديد أسعار الكربون في الفصل العاشر). تُعرف هذه التكاليف الإضافية «بالعلاوات الخضراء» [8] وهو المصطلح الذي ابتكرته لها.

خلال كافة الحوارات التي كنت أخوضها حول التغيُّر المناخي، كانت العلاوات الخضراء تبقى عالقة في ذهني. سيتردّد هذا المفهوم كثيرًا في الفصول التالية، لذا، أريد أن أخصّص القليل من الوقت لشرح معناه.

لست أقصد بكلامي علاوة خضراء واحدة فحسب، بل عددًا كبيرًا منها: بعضها للكهرباء، والبعض الآخر لأنواع الوقود المختلفة، أو الإسمنت، وسوى ذلك. يتوقّف حجم العلاوة الخضراء على ما تنوي استبداله وبماذا. فتكلفة وقود

الطائرات النفّاثة الخالي من الكربون تختلف عن تكلفة الكهرباء المولَّدة بالطاقة الشمسية. سأعطيك مثالًا عن التطبيق العملي للعلاوات الخضراء.

خلال السنوات القليلة الماضية، بلغ متوسّط سعر بيع غالون وقود الطائرات النفّاثة في الولايات المتحدة 2.22 دولارات أميركية. يبلغ متوسّط تكلفة الوقود الحيوي المتقدِّم للطائرات النفّاثة، في حال توافره، 5.35 دولارات أميركية لكل غالون. تمثّل العلاوة الخضراء للوقود الخالي من الكربون الفرق بين السعرين أيّ 3.13 دولارات أميركية، أيّ بعلاوة قدرها ما يزيد عن 140 %. (سأشرح هذه العملية بشكل مفصّل في الفصل السابع).

ويمكن في بعض الحالات النادرة، أن تكون العلاوة الخضراء سلبية، أيّ في الحالات التي يكون فيها الانتقال إلى الطاقة الخضراء أقل تكلفة من التمسّك بالوقود الأحفوري. يمكنك مثلًا بحسب المكان الذي تقيم فيه، توفير المال عبر استبدال مضخّة حرارة كهربائية بالفرن الذي يعمل على الغاز الطبيعي وبأجهزة التكييف. في حال كنت مقيمًا في أوكلاند، سيُسهم ذلك في توفير حوالى 14 % من تكاليف التدفئة والتبريد، فيما يمكن أن تصل هذه النسبة إلى 17 % في هيوستن.

ربما تظن أنّ التقنية ذات العلاوة الخضراء السلبية معتمدة في مختلف أنحاء العالم. هذا صحيح بالإجمال، غير أنّ الفترة الزمنية التي تفصل ما بين عملية إدخال تقنية جديدة وعملية نشرها طويلة، ولاسيّما في ما يتعلّق بالأفران المنزلية التي لا تُستبدَل بصورة متكرّرة.

غير أنّ الحديث الجدّي عن المفاضلات لا يمكن أن يبدأ بشكل فعلي إلَّا بعد تحديد العلاوات الخضراء لكل من الخيارات الهامة الخالية من الكربون. كم تبلغ قيمة المبالغ التي نحن على استعداد لدفعها للانتقال إلى الطاقة

الخضراء؟ هل باستطاعتنا شراء الوقود الإحيائي المتقدّم الذي يعتبر أغلى بمرّتين من وقود الطائرات النفّاثة؟ هل باستطاعتنا شراء الإسمنت الأخضر الذي توازي تكلفته ضعف كلفة الإسمنت التقليدي؟

بالمناسبة، عند استخدامي صيغة الجمع لطرح السؤال «كم تبلغ قيمة المبالغ التي نحن على استعداد لدفعها؟»، أقصد بذلك المجتمع العالمي ككل، وليس ما يستطيع الأميركيون والأوروبيون تحمّل تكلفته. يمكن أن تتخيّل مثلًا علاوات خضراء مرتفعة بما يكفي لتتمكّن الولايات المتحدة من دفعها في حين أنّ الهند والصين ونيجيريا والمكسيك لا تستطيع ذلك. ما يعني أننا في حاجة إلى علاوات منخفضة بما فيه الكفاية ليتمكّن الجميع من إزالة الكربون.

تشكّل العلاوات الخضراء باعتراف الجميع أهدافًا متحرّكة وتنطوي عملية تقييمها على كثير من الافتراضات؛ في ما يتعلّق بهذا الكتاب، اخترت الافتراضات التي بدت منطقية بالنسبة إليّ، في حين أنّ أشخاصًا آخرين على درجة عالية من الاطلاع والثقافة قد يختارون افتراضات مختلفة ويتوصّلون إلى أرقام مغايرة. فالأهم من الأرقام المحدّدة هو التأكّد ما إذا كانت التكنولوجيا الخضراء قابلة لتكون منخفضة التكلفة بقدر الوقود الأحفوري، والتفكير، في حال كانت التكنولوجيات غير منخفضة التكلفة، إلى أيّ مدى يمكن أن تُسهم الابتكارات في خفض أسعارها.

آمل أن تشكّل العلاوات الخضراء المذكورة في هذا الكتاب بداية لأحاديث طويلة عن تكاليف رحلة الوصول إلى نقطة الصفر. وآمل أيضًا أن يجري أشخاص آخرون عمليات حسابية عن العلاوات، وسأكون في غاية السعادة إذا ما تبيّن لي أنّ بعضها ليس مرتفعًا بالقدر الذي أتوقّعه.

على الرغم من أنّ العمليات الحسابية التي أجريتها في هذا الكتاب لا تعتبر من الآليات المثالية لمقارنة التكلفة، ولكن ذلك أفضل من عدم توافر أيّ آلية على الإطلاق.

فالعلاوات الخضراء تمثّل بصورة خاصة رؤية ثاقبة لصنع القرارات. فهي تساعدنا على الاستفادة إلى أقصى حدّ ممكن من وقتنا واهتمامنا وأموالنا. وبوسعنا عند الاطلاع على مختلف العلاوات، أن نتّخذ قرارًا لجهة الحلول الخالية من الكربون التي ينبغي لنا تعميم استعمالها في الوقت الحالي والأماكن حيث علينا متابعة تحقيق الاختراقات لأنّ البدائل النظيفة ليست منخفضة التكلفة بما فيه الكفاية. فهي تساعدنا على الإجابة عن بعض الأسئلة المماثلة:

ما هي الخيارات الخالية من الكربون التي علينا تعميم استخدامها في الوقت الحالي؟

الإجابة: الخيارات ذات العلاوات الخضراء المنخفضة، أو التي لا تحتاج إلى علاوات على الإطلاق. في حال لم نكن قد عمّمنا استخدام هذه الحلول بعد، فتلك علامة على أنّ التكلفة لا تشكّل عائقًا. فما يعيق حصولنا عليها هي أمور أخرى، كالسياسات العامة القديمة الطراز أو النقص في الوعي.

أين ينبغي أن نركّز الإنفاق على البحوث والتطوّر، ومن هم المستثمرون الأوائل، وأفضل المستثمرين؟

الإجابة: حيثما يتبيّن لنا أنّ العلاوات الخضراء مرتفعة جدًا، وتشكّل التكلفة الإضافية للانتقال إلى الطاقة الخضراء عائقًا أمام إزالة الكربون، كما حيثما تتوافر الفرص للتكنولوجيات والشركات والمنتجات الجديدة التي من

شأنها أن تجعل تكلفتها معقولة. فالدول المتفوّقة في مجال البحوث والتطوير تستطيع إنشاء منتجات جديدة، بتكلفة معقولة، وتصديرها إلى المناطق التي ليس بمقدورها دفع العلاوات الحالية. وبدلًا من الدخول في جدل حول ما إذا كان كلّ من الدول تؤدّي قسطها العادل من المسؤولية المطلوبة منها لتفادي الكارثة المناخية، ستتسابق الدول والشركات لابتكار وتسويق الابتكارات الميسورة التكلفة التي من شأنها مساعدة العالم على بلوغ نقطة الصفر.

وتتمثّل الفائدة الأخيرة المتأتّية عن العلاوة الخضراء في إمكانية استخدامها كنظام قياس لتحديد التقدّم المحرز على صعيد وقف التغيُّر المناخي.

من هذا المنطلق، تذكّرني العلاوة الخضراء، بمشكلة واجهتها مع ميليندا عندما بدأنا بالعمل في مجال الصحة العالمية. ففي حين أنّ الخبراء كانوا على علم بعدد الأطفال الذين يموتون سنويًا في العالم، لم يكن بإمكانهم تزويدنا بمعلومات وافية عن الأسباب وراء هذه الوفيات. كنا ندرك بأنّ عددًا من الأولاد كان يلقى مصرعه نتيجة الإسهال، ولكننا لم نكن ندرك ما تسبّب بالإسهال في المقام الأوّل. كيف لنا أن نعلم ما هي الاختراقات التي من شأنها أن تنقذ الأرواح في حين أننا لا نعرف لماذا يموت أطفالنا؟

وبفضل تعاوننا مع الشركاء من مختلف أنحاء العالم، تمكّنا من تمويل دراسات مختلفة لمعرفة ما يتسبّب في وفاة الأطفال. ونجحنا في نهاية المطاف في تتبّع الوفيات بمزيد من التفاصيل، بحيث أسهمت هذه البيانات في رسم الطريق نحو إنجازات هامة. فقد وجدنا على سبيل المثال أنّ الالتهاب الرئوي يتسبّب بعدد كبير من الوفيات السنوية للأطفال. وعلى الرغم من أن لقاح المكوّرة الرئوية متوافر بالفعل، إلَّا أنه مكلف جدًا بحيث أن البلدان

الفقيرة لا تستطيع شراءه (لم يكن لديها ما يحفّزها على ذلك، لأنها لا تملك أدنى فكرة عن عدد الأطفال الذين يموتون سنويًا بهذا المرض). ولكن، لدى اطّلاعها على البيانات وموافقة المانحين على تسديد الجزء الأكبر من التكلفة، بدأت بإضافة اللقاح إلى برامجها الصحية، وبالتالي، تمكّنا من تمويل تصنيع لقاح أقل تكلفة، لقاح يستخدم في بلدان مختلفة حول العالم.

يمكن أن تسهم العلاوات الخضراء إسهامًا مماثلًا على صعيد انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. فالعلاوات تطرح رؤية مختلفة لحجم الانبعاثات التي تظهر لنا مدى المسافة التي تبعدنا عن نقطة الصفر، ولكن من دون أن تطلعنا على مدى صعوبة الوصول إلى هناك. كم تبلغ تكلفة استخدام الأدوات الخالية من الكربون المتوافرة لدينا حاليًا؟ ما هي الابتكارات التي من شأنها أن تترك التأثير الأكبر على الانبعاثات؟ يمكن للعلاوات الخضراء الإجابة عن هذه الأسئلة، من خلال قياس تكلفة الوصول إلى نقطة الصفر، في كلّ قطاع على حدة، وتسليط الضوء على المجالات التي تحتاج إلى ابتكارات، تمامًا كما أظهرت لنا البيانات ما علينا أن نفعله للدفع قدمًا بلقاح المكوّرة الرئوية.

في بعض الحالات، كما هي الحال في ما يتعلّق بوقود الطائرات النفاثة الذي أشرت إليه على سبيل المثال آنفًا، تعتبر المقاربة المباشرة لتقييم العلاوة الخضراء بسيطة. ولكن عند تطبيقها بصورة أكثر شمولية، سنواجه مشكلة لأننا لا نملك مكافِئًا أخضرًا مباشرًا لكل حالة. فإذا لم يكن، مثلًا، ما يُعرف بالإسمنت الخالي من الكربون متوافرًا لدينا (ليس متوافرًا على الأقل في الوقت الحالي)، كيف يسعنا إدراك تكلفة الحل الأخضر في هذه الحالة؟

بوسعنا اللجوء في هذه الحالة إلى اختبار ذهني. «كم تبلغ تكلفة امتصاص الكربون من الغلاف الجوي مباشرة؟». تحمل هذه التقنية اسمًا، وهو «التقاط الهواء المباشر» (يمكنك باختصار استخدام هذه التقنية لنفخ الهواء في جهاز يمتص ثاني أكسيد الكربون، ومن ثمَّ تخزين الغاز على سبيل حفظه). صحيح أنّ هذه التقنية عالية التكلفة وغير مثبتة علميًا بعد، ولكن في حال نجاحها على نطاق واسع، ستسمح لنا بالتقاط ثاني أكسيد الكربون في زمان إنتاجه ومكانه. تقع المنشأة الوحيدة المعنية بالتقاط الهواء المباشر في سويسرا، وهي معنية بامتصاص الكربون الذي قذفته محطة للطاقة الفحمية في تكساس منذ 10 سنوات.

لتحديد تكلفة هذه المقاربة، يجب أن تتوافر لدينا معلومتان أساسيتان: حجم الانبعاثات العالمية، وتكلفة امتصاص الانبعاثات عبر استخدام تقنية التقاط الهواء المباشر.

في ما يتعلّق بحجم الانبعاثات، فهو يوازي 52 مليار طن سنويًا. أما بالنسبة إلى تكلفة إزالة طن من الكربون من الهواء، فلم نتمكّن بعد من تحديدها بشكل دقيق، ولكنها توازي 200 دولار أميركي لكل طن. وأظن أنّ بوسعنا، عبر الاستعانة ببعض الأفكار المبتكرة، خفضها إلى 100 دولار أميركي لكل طن، لهذا سأحرص على استخدام هذا الرقم في المعادلة التالية:

52 مليار طن سنويًا × 100 دولار أميركي لكل طن = 5.2 تريليون دولار أميركي في السنة.

بعبارة أخرى، تبلغ تكلفة استخدام تقنية التقاط الهواء المباشر لحلّ مشكلة المناخ 5.2 تريليون دولار سنويًا، في ظلّ استمرارنا في إنتاج الانبعاثات. ما يعادل تقريبًا 6 % من الاقتصاد في العالم (إنه مبلغ ضخم على

الرغم من أنّ التقنية النظرية لالتقاط الهواء المباشر قابلة لأن تكون أقل تكلفة من محاولة خفض الانبعاثات عبر إقفال بعض القطاعات الاقتصادية، على غرار ما حصل لدى انتشار جائحة كوفيد-19. بالاستناد إلى البيانات الواردة من مجموعة روديوم، تراوحت التكلفة للطن الواحد في الولايات المتحدة بين 2,600 دولار أميركي و3,300، في حين تخطّت 4,000 دولار أميركي في دول الاتحاد الأوروبي. ما يعني أنّ التكلفة تخطّت 100 دولار أميركي للطن الواحد التي كنا نتطلّع إلى تحقيقها يومًا ما بما يعادل 25 مرة إلى 40.

أشرت سابقًا إلى أنّ المقاربة المبنيّة على تقنية التقاط الهواء المباشر هي مجرّد اختبار ذهني، لأنّ التكنولوجيا التي ارتكزت تلك التقنية عليها ليست جاهزة بعد لتعميم استخدامها على النطاق العالمي، كما لا يمكن وصفها على أنها فعّالة في حلّ مشكلة انبعاثات الكربون في العالم. إذ ليس واضحًا كيف يمكن تخزين مئات المليارات من أطنان الكربون بشكل آمن، ولا تتوافر أيّ طريقة عملية لجمع 5.2 تريليون دولار سنويًا أو التأكّد من تسديد الجميع حصته العادلة (ومن الممكن أن تثير عملية تحديد الحصة العادلة لكل جهة صراعًا سياسيًا رئيسًا). يحتاج العالم إلى بناء ما يزيد عن 50,000 منشأة لالتقاط الهواء المباشر ليتمكن من إدارة الانبعاثات التي نتسبّب بها حاليًا، مع الإشارة إلى أنّ هذه التقنية أثبتت فعاليتها في ما يختص ثاني أكسيد الكربون ولكنها لم تجدِ نفعًا على صعيد الميثان وغازات الاحتباس الحراري الأخرى. كما وأنّ هذا الحلّ هو على الأرجح الأقل تكلفة على الإطلاق، ومن الأفضل في كثير من الحالات اجتناب انبعاث غازات الاحتباس الحراري في المقام الأوّل.

وفي حال نجاح تقنية التقاط الهواء المباشر على الصعيد العالمي، ولا تنسى أنني أميل إلى التفاؤل في ما يتعلّق بالتكنولوجيا، لن يكون من الممكن تطويرها وتعميم استخدامها بالسرعة المطلوبة لتفادي تعرّض البيئة لأضرار

وخيمة. ولسوء الحظ، لا يمكن انتظار ظهور تقنية مستقبلية كتقنية التقاط الهواء المباشر لتنقذنا، بل علينا أن نباشر بإنقاذ أنفسنا منذ هذه اللحظة.

نصيحة مفيدة: ضع دومًا العلاوة الخضراء في الحسبان وسل ما إذا كانت منخفضة بما يكفي لتمكين البلدان المتوسّطة الدخل من دفعها.

في ما يلي عرض موجز للنصائح الخمس:

1. حوِّل أطنانًا من الانبعاثات إلى نسبة من 52 مليارًا.

2. تذكّر بأننا نحتاج إلى حلول للأنشطة الخمسة المسبِّبة للانبعاثات: صناعة الأشياء، الوصل بالكهرباء، الزراعة، التنقّل والحفاظ على الدفء والتبريد.

3. كيلوواط= منزل. جيغاواط= مدينة متوسّطة الحجم. مئات الجيغاواط= دولة شاسعة وثرية.

4. ضع بالاعتبار المساحة التي ستحتاج إليها.

5. ضع العلاوات الخضراء في الحسبان وسل ما إذا كانت منخفضة بما يكفي لتمكين البلدان المتوسّطة الدخل من دفعها.

الفصل الرابع

الوصل بالقابس

26 % من 52 مليار طن في السنة

من منّا ليس مولعًا بالكهرباء على الرغم من أنّ معظمنا لا يعرفها؟ فهي متوافرة بصورة مستمرّة لتشغيل مصابيح الشوارع، والمكيّفات، وأجهزة الكومبيوتر، وأجهزة التلفزيون، كما تمدّ مختلف العمليات الصناعية التي يفضّل معظمنا عدم التفكير فيها بالطاقة اللازمة. ولكن، غالبًا ما يحدث في الحياة ألّا ندرك أهمية الشيء إلى أن نفقده. ففي الولايات المتحدة، لا ينقطع التيار الكهربائي إلّا نادرًا بحيث أنّ الناس لم ينسوا بعد يوم انقطعت الكهرباء وعَلِقوا في المصاعد قبل عقد من الزمن.

لم أكن مدركًا لمدى اعتمادنا على الكهرباء، ولكن على مرّ السنين، بدأت أدرك شيئًا فشيئًا الأهمية الأساسية التي تنطوي عليها، وأصبحت أقدّر خير تقدير الجهود المبذولة لتوفير هذه التقنية المعجزة. فالحق يُقال إنني أشعر بالرهبة أمام تلك البنى التحتية المادية التي تُسهم في توفير كهرباء

ميسورة التكلفة، مستدامة وموثوقة. أليس مذهلًا أن تتوقّع عند الضغط على زر بسيط في أيّ مكان في الدول الميسورة الحال أن تضاء المصابيح وبتكلفة زهيدة جدًا؟ إذ تبلغ حرفيًا، تكلفة إضاءة مصباح بقوة 40 واطًا لمدة ساعة بكاملها حوالى نصف سنت تقريبًا.

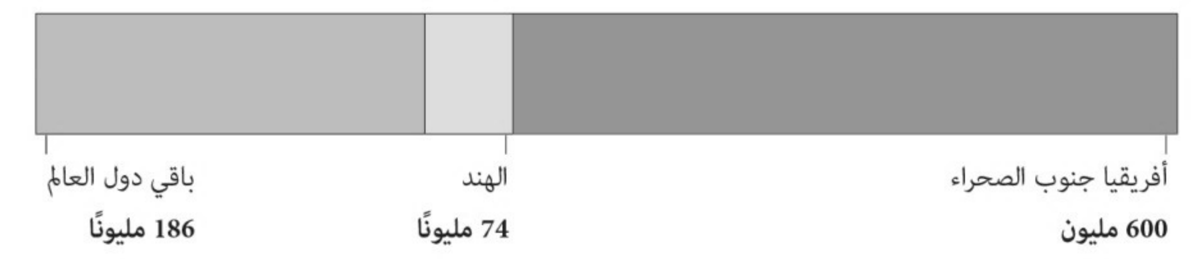
لست الفرد الوحيد في الأسرة الذي يخالجه هذا الشعور تجاه الكهرباء: فقد تعوّدت زيارة محطات توليد الطاقة برفقة ابني روري على سبيل التسلية، للاطّلاع على كيفية عملها.



عقب الرحلة العائلية إلى بركان ثرينوكاكيغور في إيسلندا في العام 2015، زرتُ وروري محطة الطاقة الحرارية الأرضية المجاورة.

أشعر بسعادة غامرة لأنني استثمرت ما يكفي من الوقت لاكتساب معلومات جديدة عن الطاقة الكهربائية، بحيث تسنّى لي في المقام الأوّل أن أصرف مزيدًا من الوقت الممتع برفقة ابني (إنني جاد في ما أقوله). كما أنّ محاولة إيجاد سبيل للاستفادة من الطاقة الكهربائية القليلة التكلفة والموثوقة من دون التسبّب بانبعاث مزيد من غازات الاحتباس الحراري هي الخطوة الوحيدة الأساسية التي علينا القيام بها لاجتناب كارثة مناخية. ومردّ ذلك بشكل جزئي إلى أنّ توليد الطاقة الكهربائية يسهم بشكل أساسي في التغيُّر المناخي، كما وبوسعنا استخدام الطاقة الكهربائية الخالية من الكربون، في حال تمكّنا من التوصّل إلى إنجازها، لإزالة الكربون من الأنشطة الأخرى، كوسائل النقل وصناعة الأشياء. فالطاقة التي نستغني عنها عبر الامتناع عن استخدام الفحم، الغاز الطبيعي، والوقود يجب أن تتوافر في مكان آخر، وغالبًا في الكهرباء النظيفة. لهذا، سأتحدّث في البداية عن الطاقة الكهربائية على الرغم من أنّ الصناعة مسؤولة عن كمية أكبر من الانبعاثات.

ومن المهم بمكان أن يتمكّن عدد أكبر من الناس من الحصول على الطاقة الكهربائية والاستفادة منها. ففي البلدان الأفريقية جنوب الصحراء، لا يُجاوز عدد السكان الذين ينعمون بطاقة كهربائية موثوقة في منازلهم النصف [9]. ومن تعذر عليه الوصول إلى الكهرباء، ستتحول عملية شحن الهاتف البسيطة إلى عملية شاقة ومكلفة بالنسبة إليه. إذ عليه التوجه إلى أحد المتاجر ودفع 25 سنتًا أو أكثر لتوصيل هاتفه بقابس، أيّ مئات المرات أكثر مما يدفعه السكان في البلدان المتطوّرة.



يفتقر 860 مليون شخص إلى إمكانية الوصول إلى الطاقة الكهربائية الموثوقة.

أقل من نصف السكان في البلدان الأفريقية جنوب الصحراء متّصلين بالشبكة (الوكالة الدولية للطاقة)

لا أتوقّع أن يشعر كثيرٌ من الأشخاص بالإثارة مثلي لدى رؤيتهم الشبكات والمحوّلات. (يمكنني الاعتراف بأن لا أحد قد يكتب مثلًا «أشعر بالرهبة أمام البنى التحتية المادية» إلَّا من كان غريب الأطوار). ولكن أظنّ أنه إذا ما توقّف الجميع عن التفكير في الجهد المبذول لتوفير الخدمات التي نعتبرها من المسلَّمات، سيتمكّنون من تقديرها أكثر. كما سيدركون أن لا أحد منا يستطيع الاستغناء عنها؛ ومهما كانت طبيعة الوسائل التي نستخدمها للوصول في المستقبل إلى طاقة كهربائية خالية من الكربون، يجب أن تكون موثوقة ومنخفضة التكلفة تمامًا كتلك التي نستخدمها حاليًا.

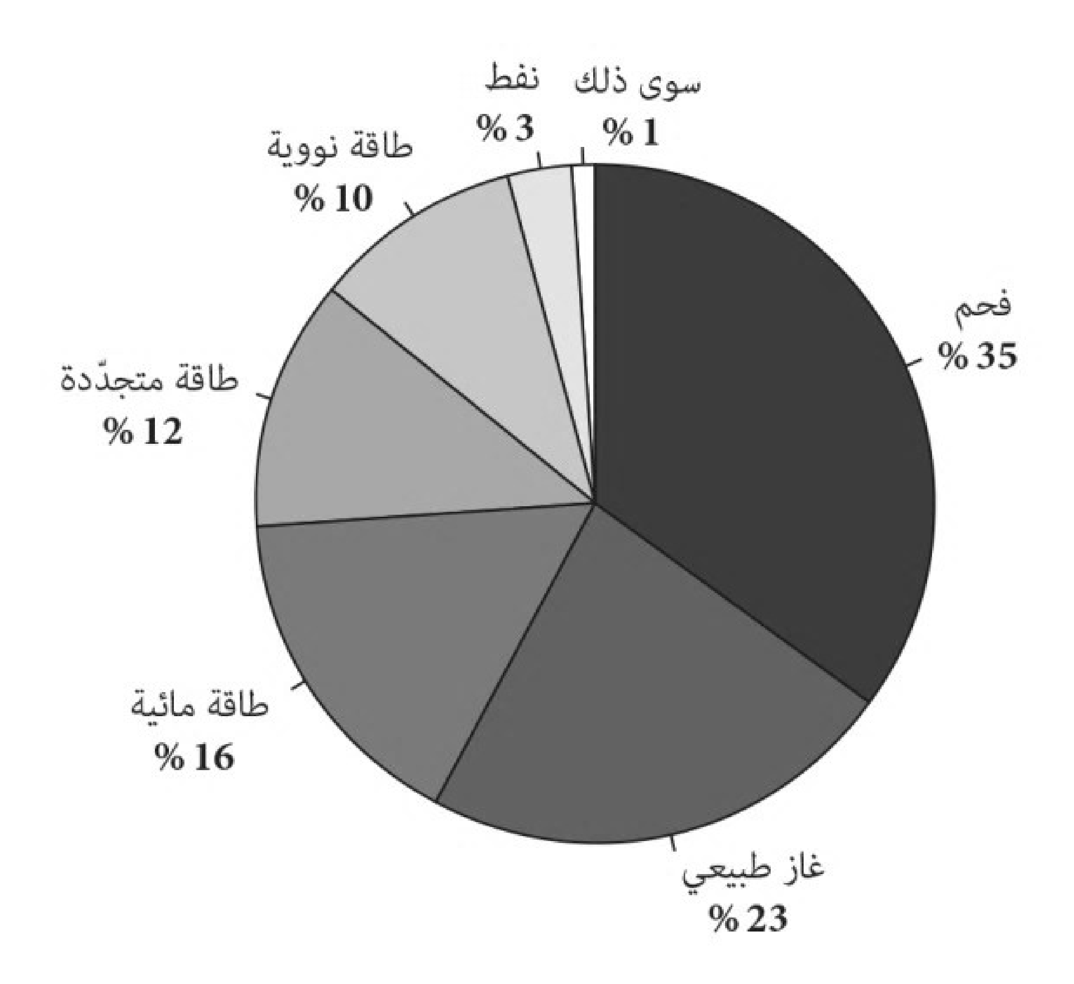
سأتطرّق في هذا الفصل إلى كلّ الجهود المطلوبة للحفاظ على الميزات التي نقدّرها في الكهرباء، لاسيّما وأنها مصدر للطاقة قليل التكلفة ومتوافر بشكل دائم، والعمل على تأمينها لعدد أكبر من الناس ولكن من دون انبعاثات الكربون. تبدأ القصة بالدرب التي قطعناها وصولًا إلى ما نحن عليه اليوم وإلى أين نحن متّجهون.

في ظل الانتشار الحالي الواسع النطاق للطاقة الكهربائية، من السهل أن ننسى أنها تحوّلت إلى عامل مهم في حياة معظم السكان في أميركا خلال العقود القليلة الأولى من القرن العشرين. ولم تكن مصادر الطاقة الكهربائية الشائعة الاستعمال اليوم، كالفحم، النفط أو الغاز الطبيعي، المصدر الرئيس لتوليد الطاقة في أميركا، بل تمّ الاعتماد بشكل أساسي على المياه من طريق الطاقة المائية.

وللطاقة المائية كثير من الميزات، ومنها تكلفتها المنخفضة نسبيًا، إلَّا أنّ سلبياتها كثيرة أيضًا، بحيث أنّ بناء خزانات المياه من شأنه أن يتسبّب في نزوح المجتمعات المحلية والحياة البرية. عندما تغمر المياه الأرض، سيتحوّل الكربون، في حال توافره بكثرة في التربة، إلى ميثان ويتسرّب إلى الغلاف الجوي، ما يعني أنه من الممكن أن يتحوّل السدّ، وفق ما توصّلت إليه بعض الدراسات، إلى مصدر للانبعاثات أسوأ من الفحم على مدى خمسين سنة أو مئة قبل أن يتمكّن من التعويض عن انبعاثات الميثان التي تسبّب بها [10]، وذلك بحسب المكان الذي بُني فيه. إضافة إلى ذلك، يتوقّف حجم الطاقة الكهربائية التي يمكن توليدها باستخدام السدّ على المواسم، لأنّ الاعتماد يتركّز بشكل أساسي على المجاري المائية والأنهر التي تغذيها مياه الأمطار. ضف على ذلك أنّ الطاقة المائية ثابتة، وبالتالي يجب بناء السدود حيث تتواجد الأنهر.

في المقابل، لا تشكّل هذه القيود عائقًا أمام الوقود الأحفوري؛ إذ يمكن استخراج الفحم، النفط أو الغاز الطبيعي من الأرض ونقله إلى محطة لتوليد الطاقة، حيث يُحرق، وتُستخدم الحرارة لغلي المياه، ويحوّل البخار المتصاعد من المياه المغليّة إلى العنفة لتوليد الطاقة.

في ظلّ هذه الميزات كلها، لم نجد بُدًّا من استخدام الوقود الأحفوري لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة عقب الحرب العالمية الثانية. فبفضل الوقود الأحفوري، تمكّنا من تعزيز الطاقة الإنتاجية في النصف الثاني من القرن العشرين بما يقارب 700 جيغاواط، أيّ 60 مرّة أكثر من الطاقة الإنتاجية التي كانت متوافرة قبل الحرب.



لن يكون من السهل تأمين الطاقة الكهربائية للعالم كله من مصادر نظيفة. فالوقود الأحفوري يمثّل حاليًا ثلثي الطاقة الكهربائية المولّدة في العالم (المراجعة الإحصائية السنوية للطاقة في العالم - 2021 بريتيش پيتروليوم)

انخفضت تكلفة الكهرباء على مرّ السنين بشكل غير عادي، بحيث أثبتت إحدى الدراسات بأنها أصبحت في العام 2000 ميسورة التكلفة أكثر بمئتي مرّة مما كانت عليه في العام 1900. تُنفق حاليًا الولايات المتحدة 2 %

فقط من الناتج المحلي الإجمالي على الكهرباء، وهو رقم ضئيل جدًا إذا ما أخذنا بالاعتبار مدى اعتمادنا عليها.

إنّ السبب الرئيس الذي جعل الكهرباء ميسورة التكلفة هو تدنّي سعر الوقود الأحفوري، وتوافره على نطاق واسع، فضلًا عن تطوير شتى الطرق الأكثر فعالية لاستخراجه وتحويله إلى طاقة كهربائية. وتبذل الحكومات جهودًا لافتة للحفاظ على أسعار الوقود الأحفوري منخفضة وتشجيع إنتاجه.

ففي الولايات المتحدة، اعتُمد هذا النهج منذ تأسيس الجمهورية: إذ أقرّ الكونغرس في العام 1789 أول قانون لتعرفة الحماية الجمركية على الفحم المستورد. ومع حلول القرن التاسع عشر وتبلور مدى أهمية الفحم في صناعة السكك الحديدية، بدأت الولايات بإعفائه من بعض الضرائب كما وضعت حوافز أخرى لإنتاجه. وعقب إقرار ضريبة إيراد الشركات في العام 1913، حَظِيَ منتجو الغاز والنفط بالحق في الاستفادة من حسومات على نفقات معينة، بما في ذلك نفقات الحفر. شكّلت تلك النفقات الضريبية، التي ما تزال مدرَجة في القانون الضريبي لغاية تاريخه، حوالى 42 مليار دولار أميركي (وفق معدل سعر الدولار الحالي) من حيث الدعم الموفَّر لمنتجي الغاز الطبيعي والفحم ما بين العامين 1950 و1978. إلى جانب ذلك، استفاد منتجو الفحم والغاز أيضًا من شروط الإيجار المؤاتية للأراضي الفدرالية.



يظهر هذا المنشور منشأة للفحم في كونيلسفيل، في بنسلفانيا، قرابة العام 1900

لم تكن الولايات المتحدة الدولة الوحيدة التي اعتمدت هذا النهج، بحيث اتّخذت معظم الدول خطوات متنوّعة للحؤول دون ارتفاع سعر الوقود الأحفوري. وبحسب الوكالة الدولية للطاقة، قُدّر الدعم الحكومي لاستهلاك الوقود الأحفوري بحوالى 400 مليار دولار أميركي في العام 2018، ما يبرّر حفاظه على مكانته المستدامة على صعيد الإمداد بالطاقة الكهربائية. فحصّة الطاقة العالمية من حرق الفحم (البالغة 40 %) لم تتغيّر على مدى 30 سنة، في حين أنّ حصّة كلٍّ من النفط والغاز الطبيعي بقيت تترجّح حول نسبة 26 % خلال ثلاثة عقود. باختصار، يُسهم الوقود الأحفوري في حوالى ثلثي حاجة

العالم إلى الطاقة الكهربائية، في حين أنّ إسهام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لا يتعدى 9 %.

بحلول منتصف العام 2019، بدأ العمل على بناء محطات لتوليد الطاقة الفحمية بقوة 236 جيغاواط تقريبًا في مناطق مختلفة من العالم؛ يعتبر كلّ من الفحم والغاز الطبيعي الوقود المفضّل في الدول النامية حيث ارتفع الطلب ارتفاعًا هائلًا خلال العقود القليلة الماضية. فما بين العامين 2000 و2018، زادت الصين حجم الطاقة الفحمية التي تستخدمها بمعدل ثلاثة أضعاف، بحيث أصبحت طاقتها الإنتاجية أعلى من الطاقة الإنتاجية في الولايات المتحدة، والمكسيك وكندا مجتمعة!

هل باستطاعتنا تغيير ذلك كله والوصول إلى كمية الكهرباء التي نحتاج إليها من دون انبعاث غازات الاحتباس الحراري؟

يتوقّف الأمر على الجهات المقصودة بصيغة الجمع. فالولايات المتحدة قادرة على تحقيق ذلك نسبيًا، في حال وضع السياسات الصحيحة لتوسعة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إلى جانب الضغط بشكل ملائم لإنجاز ابتكارات معينة. ولكن هل بإمكان العالم كله الوصول إلى كهرباء خالية من الكربون؟ سيكون ذلك صعبًا بعض الشي.

فلنبدأ بالعلاوات الخضراء المخصّصة للكهرباء في الولايات المتحدة. فالخبر السار هو أننا نستطيع بالفعل التخلّص من الانبعاثات عبر علاوة خضراء بسيطة.

في ما يخصّ الكهرباء، تمثّل العلاوة التكلفة الإضافية المترتّبة عن توليد الطاقة من مصادر غير مسبِّبة للانبعاثات، كالرياح، والطاقة الشمسية،

والطاقة النووية، والمصانع التي تعمل بالفحم والغاز الطبيعي والمزوّدة بأجهزة لالتقاط الكربون المنبعث منها. (تذكّر بأنّ الهدف ليس استخدام مصادر الطاقة المتجدّدة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح فحسب، بل بلوغ نقطة الصفر من حيث الانبعاثات. ولهذا السبب، أضفت هذه الخيارات الأخرى الخالية من الكربون).

كم تبلغ قيمة العلاوة؟ إنّ انتقال نظام الطاقة الكهربائية في أميركا إلى مصادر الطاقة الخالية من الكربون قد يرفع متوسّط سعر التجزئة بحوالى 1.3 سنت إلى 1.7 لكل كيلوواط في الساعة، أيّ بزيادة بنسبة 15 % عمّا يدفعه الناس اليوم. ما يعني أنّ العلاوة الخضراء لكل منزل متوسِّط الدخل قد تصل إلى 18 دولارًا أميركيًا، وهي تكلفة معقولة لمعظم الأشخاص، على الرغم من أنّ أصحاب الدخل المنخفض في أميركا، الذين ينفقون حوالى عشر دخلهم على الطاقة قد لا يتمكّنون من تحمّل هذا العبء الإضافي.

(إذا كنت المسؤول عن دفع فاتورة الكهرباء، فلا بُدّ من أنك سمعت عن كيلوواط-ساعة الذي يمثّل وحدة قياس الطاقة في المنازل. ولكن في حال كنت في حيرة من أمرك، فاعلم أنّ الكيلوواط-ساعة هو وحدة قياس للطاقة تُستخدم لتحديد معدل استهلاك الطاقة الكهربائية في فترة زمنية معينة. في حال تبيّن أنك استهلكت 1 كيلوواط في الساعة، فذلك يعني أنك استهلكت 1 كيلوواط-ساعة. يبلغ الاستهلاك المنزلي اليومي في الولايات المتحدة 29 كيلوواط-ساعة. وفي حين أن معدل تكلفة الكيلوواط-ساعة في مختلف الولايات الأميركية، وفي أوساط كافة المستهلكين، حوالى 10 سنتات، إلَّا أنّ التكلفة قد تكون أكثر بثلاث مرات في بعض الأماكن).

إنه لشيء رائع أن تكون العلاوة الخضراء منخفضة إلى هذا الحدّ في أميركا، تمامًا كما هي الحال في أوروبا. فقد أشارت دراسة أجرتها رابطة التجارة الأوروبية إلى أنّ تكلفة إزالة الكربون من شبكة الطاقة الكهربائية بنسبة 90 % إلى 95، قد يتسبّب بزيادة الرسوم بنسبة 20 % (استخدمت هذه الدراسة منهجية مختلفة عن تلك التي اعتمدتها لحساب العلاوة الخضراء في أميركا).

لمن المؤسف أنّ الحظ لم يحالف إلَّا عددًا قليلًا من الدول الأخرى. فالولايات المتحدة تملك إمدادات بكميات هائلة من الطاقة المتجدّدة، بما في ذلك الطاقة المائية في الإقليم الشمالي الغربي الهادئ، والرياح الشديدة في وسط غرب الولايات المتحدة، وأشعة شمسية على مدار السنة في جنوب غرب كاليفورنيا. غير أنّ الدول الأخرى تنعم مثلًا بالأشعة الشمسية ولكنها تفتقر إلى الرياح، أو تنعم بالرياح ولكنّ أشعة الشمس لا تغمرها طوال أيام السنة، أو لا تنعم بكمية وافية من أيّ منهما. ما يعني أنّ تصنيفها الائتماني منخفض ومن الصعب تمويل استثمارات ضخمة في معامل جديدة لتوليد الطاقة.

يحتلّ كلّ من أفريقيا وآسيا المكانة الأصعب. فخلال العقود القليلة الماضية، تمكّنت الصين من تحقيق أعظم إنجاز في التاريخ بحيث انتشلت ما يزيد عن مئات الملايين من الناس من براثن الفقر، وذلك عبر بناء معامل لتوليد الطاقة تعمل على الفحم وبتكلفة زهيدة جدًا. وخفضت الشركات الصينية تكلفة محطات توليد الطاقة الفحمية بنسبة 75 % وهي تسعى حاليًا لكسب مزيد من المستهلكين، عبر اعتمادها خطّة محكمة لاستقطاب الموجة التالية من الدول النامية: الهند، إندونيسيا، فييتنام، باكستان ودول من كافة أنحاء آسيا.

ماذا يمكن أن يفعل هؤلاء المستهلكون المحتملون الجدد؟ هل سيطالبون ببناء محطات للطاقة الفحميّة أم سيختارون الطاقة النظيفة؟ إذا ما أخذنا بالاعتبار أهدافهم وخياراتهم، سنجد أنّ الطاقة الشمسية قد تشكّل خيارًا للأشخاص الذين يعيشون في مناطق ريفية فقيرة ويحتاجون إلى شحن هواتفهم وتوفير الإنارة في الليل. بيد أنّ هذا الحل لن يؤمّن لهذه الدول التي ترغب في إعطاء دفعة جديدة لأنظمتها الاقتصادية، كميات هائلة من الطاقة الكهربائية الميسورة التكلفة، والمتاحة بشكل دائم. فهي تسعى للسير على خطى الصين، والسعي لإنماء اقتصادها عبر استقطاب الصناعات ومنها المعنية بالتصنيع ومراكز الاتصال وما يماثلها من أعمال تجارية تتطلّب كمية من الطاقة (أكثر موثوقية) تضاهي تلك التي تؤمّنها حاليًا الطاقة المتجدّدة الضيّقة النطاق.

وفي حال استمرار هذه البلدان باللجوء إلى محطات الطاقة الفحمية، على غرار ما فعلت الصين وسواها من الدول الثرية، سيترك ذلك آثارًا كارثية على المناخ. ولكنّ المشكلة تكمن في عدم توافر أيّ خيارات اقتصادية أخرى في الوقت الحالي.

لا يتّضح للوهلة الأولى سبب ظهور العلاوة الخضراء في المقام الأوّل. فمحطات التوليد التي تعمل بالغاز الطبيعي تحتاج إلى شراء الوقود لتتمكّن من مواصلة عملها؛ أما محطات توليد الطاقة الشمسية، ومحطات توليد طاقة الرياح والسدود فبإمكانها التزوّد بالوقود الذي تحتاج إليه مجانًا. والحقيقة البديهية هي أنه عند الانتقال بتقنية معينة إلى نطاق واسع، تصبح أقل تكلفة. ما السبب إذن في فرض تكاليف إضافية على عملية الانتقال إلى الطاقة الخضراء؟

تكمن مشكلتنا الأساسية في تدنّي ثمن الوقود الأحفوري؛ وبالنظر إلى أنّ ثمنه لا يؤثّر على التكلفة الفعلية للتغيُّر المناخي، والمقصود بذلك الضرر الاقتصادي المترتّب عن ارتفاع درجات حرارة الكوكب، من الصعب على مصادر الطاقة النظيفة منافسته. ولا يجب أن ننسى أننا بذلنا على مدى عقود طويلة جهدًا كبيرًا لبناء نظام لاستخراج الوقود الأحفوري من الأرض، وتوليد الطاقة منه وتوفيرها للمستهلكين بتكلفة ميسورة.

ومن الأسباب الأخرى التي ذكرتها آنفًا، عدم توافر موارد ملائمة للطاقة المتجدّدة في بعض المناطق، بحيث أن الوصول إلى أقرب نقطة من نسبة 100 % يتطلّب كميات هائلة من الطاقة النظيفة من مكان تواجدها (أماكن مشمسة، ولاسيّما المناطق المجاورة لخط الاستواء، والمناطق الكثيرة الرياح) إلى حيثما تدعو الحاجة إليها (أماكن كثيرة الغيوم، لا رياح فيها). ما يتطلّب بناء خطوط نقل جديدة، وهي عملية عالية التكلفة وتستغرق وقتًا طويلًا، خاصة في الحالات التي تتطلّب عبور الحدود الوطنية؛ كما تتسبّب الزيادة في عدد خطوط الطاقة في ارتفاع الرسوم لا محالة. إذ يشكل النقل والتوزيع حوالى ثلث التكلفة النهائية لتوليد الطاقة الكهربائية [11]، كما أنّ دوًلا كثيرة لا ترغب في الاعتماد على الدول الأخرى لإمدادها بالكهرباء.

غير أنّ المحفّزات الأساسية للعلاوات الخضراء الخاصة بالطاقة الكهربائية لا تقتصر على النفط الزهيد الثمن وخطوط النقل الباهظة الثمن؛ فالعامل الرئيس هو مطالبتنا بالموثوقية، إلى جانب لعنة مصادر الطاقة المتقطّعة.

تعتبر الشمس والرياح من المصادر المتقطّعة، بمعنى أنها غير قادرة على توليد الطاقة على مدار الساعة، 365 يومًا في السنة. غير أنّ حاجتنا إلى الطاقة ليست متقطّعة: فنحن في حاجة إليها طوال الوقت. فإذا كانت الشمس والرياح تمثّلان جزءًا كبيرًا من خليط الطاقة ونحن نسعى لاجتناب الانقطاعات الرئيسة في التيار، سوف نحتاج إلى خيارات أخرى في الأوقات التي لا تكون فيها الشمس ساطعة والرياح عاصفة. ما يعني أنه علينا إما تخزين فائض الطاقة في بطاريات (وهي عملية باهظة التكلفة كما سأوضح في مرحلة لاحقة)، أو إضافة مصادر أخرى للطاقة تعتمد على الوقود الأحفوري، كمحطات توليد الطاقة بالغاز الطبيعي التي لا تعمل إلَّا عند الحاجة. في مطلق الأحوال، لن تكون النظريات الاقتصادية في صالحنا. فمع اقترابنا من تطبيق تقنية الكهرباء النظيفة بنسبة 100 %، ظهرت مشكلة المصادر المتقطّعة التي تعدّ من المشكلات الرئيسة والمكلفة.

ولعلّ أوضح مثال على التقطّع هو غروب الشمس الذي يتسبّب بانقطاع الإمداد بالكهرباء المولَّدة بالطاقة الشمسية. فلنفترض أننا نريد حلّ هذه المشكلة عبر تخزين 1 كيلوواط-ساعة من فائض الكهرباء المولَّدة في خلال النهار لنتمكّن من استخدامه في الليل. (ستحتاج إلى كمية أكبر ولكنني اخترت 1 كيلوواط-ساعة لتسهيل العملية الحسابية). كم يبلغ حجم التكلفة التي ستضاف إلى فاتورة الكهرباء بنتيجة ذلك؟

يتوقّف الأمر على عاملين أساسيين: تكلفة البطارية ومتوسّط عمرها. على صعيد التكلفة، سنفترض أنه بوسعنا شراء بطارية بقوة 1 كيلوواط-ساعة مقابل 100 دولار أميركي. (إنه مجرد تقدير متحفّظ، وسأغض الطرف في الوقت الحالي عن الحديث عمّا يمكن أن يحصل إذا ما اضطررنا للتقدّم بطلب

قرض لشراء البطارية). على صعيد عمر البطارية، سنفترض أنها قادرة على تحمّل 1,000 دورة شحن وتفريغ.

هذا يعني أنّ التكلفة الرأسمالية لبطارية بقوة 1 كيلوواط-ساعة هي 100 دولار أميركي موزّعة على 1,000 دورة، ما يعادل 10 سنتات لكل كيلوواط-ساعة. يضاف ذلك إلى تكلفة توليد الطاقة في المقام الأوّل، والتي تصل إلى 5 سنتات لكل كيلوواط-ساعة في حال توليد الطاقة بالطاقة الشمسية. بعبارة أخرى، ستوازي تكلفة الكهرباء التي قمنا بتخزينها من أجل استخدامها ليلًا ثلاثة أضعاف ما ندفعه نهارًا، أيّ 5 سنتات لتوليد الطاقة و10 سنتات لتخزينها، ما يبلغ مجموعه 15 سنتًا.

تدّعي مجموعة من الباحثين الذين تربطني بهم علاقة شخصية أنه باستطاعتهم تصنيع بطارية تدوم خمس مرّات أطول من تلك التي تحدّثت عنها. صحيح أنهم لم يباشروا بتصنيعها بعد، ولكن في حال تبيّن أنهم على حق، ستنخفض العلاوة من 10 سنتات إلى سنتين، ما يمكن وصفه بالزيادة المتواضعة. في أيّ حال، أصبح من الممكن حاليًا حلّ مشكلة توفير الكهرباء ليلًا، في حال كنت على استعداد لدفع علاوة كبيرة، ولكنني واثق من أنّ الابتكارات الجديدة ستُسهم في خفض هذه العلاوة.

إنّ مشكلة تقطّع مصادر الطاقة ليلًا ليست وبكل أسف المشكلة الأصعب على هذا الصعيد، لأن التغيُّرات الموسمية بين فصلَي الصيف والشتاء تبقى العقبة الأكبر. يجري حاليًا العمل على إيجاد طرق مختلفة للتعامل معها، كالاستخدام الثانوي لمحطة الطاقة النووية أو محطة التوليد الغازية المزوّدة بجهاز لالتقاط الانبعاثات، فضلًا عن أيّ سيناريو واقعي يتضمّن هذه الخيارات.

سأعود للحديث عن هذا الموضوع في مرحلة لاحقة، ولكن توخّيًا للبساطة، سأستخدم البطاريات لتوضيح مسألة التغيُّرات الموسمية.

لنفترض أننا نرغب في تخزين 1 كيلوواط-ساعة لاستهلاكه في الموسم وليس ليوم واحد فقط. علينا بالتالي توليد الطاقة خلال الصيف واستخدامها في فصل الشتاء لتشغيل مدفأة صغيرة. في هذه الحالة، لا يشكّل عمر البطارية عقبة لأننا لن نشحنها إلَّا مرّة واحدة في السنة.

ولكن لنفترض أننا في حاجة إلى التمويل لنتمكّن من شراء البطارية والمبلغ المقيّد في رأس المال يوازي 100 دولار أميركي. (لن تحتاج بالتأكيد إلى تمويل لشراء بطارية ثمنها 100 دولار أميركي، ولكن قد تحتاج إلى التمويل في حال كنت ترغب في شراء ما يكفي لتخزين عدد أكبر من الجيغاواط. وستبقى العملية الحسابية على حالها). إذا دفعنا فائدة بنسبة 5 % على رأس المال، إلى جانب كلفة البطارية البالغة 100 دولار أميركي، فذلك يعني أننا سنتكبد 5 دولارات إضافية لتخزين 1 كيلوواط-ساعة. وتذكر أننا ندفع 5 سنتات فقط في اليوم للحصول على الطاقة الشمسية في النهار. من قد يكون مستعدًا لدفع 5 دولارات أميركية لتخزين كمية من الكهرباء لا تساوي قرشًا واحدًا؟

ويثير تقطّع الإمداد بالطاقة الموسمي وارتفاع تكلفة التخزين مشكلة أخرى، لاسيّما لدى مستخدمي الطاقة الشمسية على نطاق واسع: إنها مشكلة الإفراط في توليد الكهرباء في الصيف والنقص في التوليد في الشتاء.

بالنظر إلى أنّ الأرض تميل على محورها، تختلف كمية ضوء الشمس الذي ينعم به جزء معين من الكرة الأرضية، ومدى كثافته باختلاف المواسم

الأربعة. كما يتوقّف حجم التباين على مدى المسافة التي تبعدك عن خط الاستواء. ففي الإكوادور مثلًا، لا يطرأ أيّ تغيير على مدار السنة. أما منطقة سياتل التي أقيم فيها، فتنعم بضعف كمية ضوء الشمس في أطول يوم في السنة مقارنة بأقصر يوم في السنة. من جهّتها، ينعم بعض المناطق في كندا وروسيا به بمقدار 12 مرة أكثر من غيرها [12].

لكي نُدرك أهمية هذا التباين، علينا أن نجري اختبارًا ذهنيًا آخر. فلنتخيّل مثلًا وجود مدينة مجاورة لسياتل، تُعرف بمدينة الشمس، وتحتاج إلى توليد 1 جيغاواط من الطاقة الشمسية على مدار السنة. كم ينبغي أن يكون حجم المصفوفة الشمسية في مدينة الشمس؟

يتمثّل أحد الخيارات في تركيب عدد كافٍ من الألواح لتوليد الجيغاواط المطلوب في فصل الصيف، عندما يكون ضوء الشمس متوافرًا بكثرة. ولكنّ المدينة سيتعثّر حظها في فصل الشتاء، حيث لن تنعم سوى بنصف كمية ضوء الشمس؛ تُعرف هذه الحالة بالنقص في توليد الطاقة. (وفي ظلّ إدراك مجلس المدينة لارتفاع تكلفة التخزين، منع استخدام البطاريات). من جهة أخرى، باستطاعة مدينة الشمس تركيب كلّ ألواح الطاقة الشمسية التي تحتاج إليها في خلال أيام الشتاء القصيرة والمظلمة، لتعود وتستخدمها في فصل الصيف لتوليد كمية من الطاقة أكثر ممّا تحتاج إليه. وستصبح بالتالي الكهرباء ميسورة التكلفة إلى حدٍ بعيد بحيث تتعرّض المدينة لضغوط شديدة لاستعادة نفقات تركيب تلك الألواح.

يمكن لمدينة الشمس معالجة مشكلة الإفراط في توليد الطاقة الكهربائية عبر إيقاف تشغيل عدد من الألواح في خلال فصل الصيف، غير أنّ ذلك يعني أنه تمّ إنفاق الأموال على معدّات لا يمكن تشغيلها إلّا خلال أشهر

معينة من السنة، ما قد يتسبّب في ارتفاع تعرفة الكهرباء المفروضة على كلّ المنازل والشركات في المدينة؛ بعبارة أخرى، سيُسهم ذلك في زيادة الأعباء على العلاوة الخضراء الخاصة بالمدينة.

لا يمكن وصف الوضع في مدينة الشمس على أنه مجرد مثال افتراضي. فقد واجهت ألمانيا مشكلة مماثلة من خلال برنامج طموح عُرف بالانتقال الطاقي، اتّخذ هدفًا له توليد ما يزيد عن 60 % من الطاقة المتجدّدة بحلول العام 2050. أنفقت الدولة المليارات من الدولارات خلال العقد الماضي لتوسعة نطاق استخدامها للطاقة المتجدّدة، بحيث ارتفعت قدرتها الإنتاجية للطاقة الشمسية بحوالى 650 % ما بين العامين 2008 و2010. غير أنّ الطاقة الشمسية المولَّدة في حزيران/يونيو 2018 كانت أكثر بعشر مرات من تلك المولَّدة في كانون الأوّل/ديسمبر 2018. ففي أوقات معينة من فصل الصيف، أسهمت محطات توليد الطاقة بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح في ألمانيا في إنتاج كمية كبيرة من الكهرباء لا تحتاج الدولة إليها كلها. ما دفعها إلى نقل الفائض إلى الدول المجاورة كبولندا وتشيكيا، حيث أعرب القادة فيهما عن الاستياء الشديد لأنّ ذلك يجهد شبكات الطاقة في البلاد ويتسبّب بتقلبات غير متوقّعة في تكلفة الكهرباء.

غير أنّ تقطّع مصادر الطاقة يتسبّب بمشكلة أخرى تعتبر معالجتها أصعب من التغيُّرات اليومية أو الموسمية؛ ماذا يمكن أن يحصل عند تعرّض المدينة لظواهر مناخية بالغة الشدّة تستمر لعدّة أيام وتَحول دون إمكانية توفير الطاقة المتجدّدة؟

فلنتخيّل معًا بأنّ مدينة طوكيو اختارت في المستقبل طاقة الرياح لتأمين الكهرباء. (تنعم اليابان بالرياح البرية والبحرية على حدٍ سواء). في شهر

آب/أغسطس، ومع بلوغ موسم الأعاصير ذروته، ضربت المدينة عاصفةٌ قوية. وهبّت رياح شديدة وتسبّبت بتكسير عنفات الرياح غير المغلقة. فقرّر المسؤولون في طوكيو إغلاق كافة العنفات والاكتفاء بالكهرباء المخزّنة في البطاريات الكبيرة الحجم المتوافرة لديهم.

إنّ السؤال الذي يطرح نفسه هو التالي: ما عدد البطاريات التي تحتاج إليها المدينة لتأمين الطاقة الكهربائية لمدينة طوكيو لمدّة ثلاثة أيام متتالية، إلى أن تنحسر العاصفة ويصبح بالإمكان إعادة تشغيل العنفات؟

الإجابة هي 14 مليون بطارية، ما يوازي سعة تخزين تتخطّى الإنتاج العالمي على مدى سبعة أعوام. أما التكلفة فتبلغ 400 مليار دولار. وإذا ما احتسبنا متوسّط عمر البطاريات، تصل قيمة النفقات السنوية إلى 27 مليارًا[13]. ويشمل هذا المبلغ التكلفة الرأسمالية للبطاريات من دون النفقات الأخرى المترتّبة عن التركيب والصيانة.

إنه مثال افتراضي بحت؛ فلا أحد يمكن أن يتصوّر أنّ طوكيو قد تكتفي بطاقة الرياح لتوليد الكهرباء أو تقوم بتخزينها في البطاريات المستخدمة حاليًا. ولكنني استخدمت هذا الرسم التوضيحي للتأكيد على نقطة حاسمة: إنّ عملية تخزين الكهرباء على نطاق واسع صعبة جدًا وكلفتها باهظة، إلَّا أننا نحتاج إليها في السنوات المقبلة لنتمكّن من الانتقال إلى مصادر الطاقة المتقطّعة لتوفير نسبة عالية من الطاقة النظيفة.

وسوف نحتاج في السنوات المقبلة إلى كميات أكبر من الكهرباء النظيفة. فمعظم الخبراء يُجمعون على أن استخدام الكهرباء في العمليات الأخرى التي ترتكز على الكربون بكثافة، كصناعة الفولاذ وتشغيل السيارات،

سيؤدّي بحلول العام 2050 إلى زيادة إمداد العالم بالطاقة الكهربائية بمعدل ضعفين أو ثلاثة أضعاف، هذا من دون أن نضع في الحسبان النمو السكاني أو إمكانية أن يزداد الناس ثراءً وبالتالي سيزداد استهلاكهم للطاقة الكهربائية. ما يعني أنّ حاجة العالم إلى توليد الطاقة الكهربائية ستكون ثلاثة أضعاف أكثر مما هي عليه اليوم.

وفي ظلّ تقطّع بعض مصادر الطاقة كالشمس والرياح، من الضروري أن تنمو قدرتنا الإنتاجية على توليد الكهرباء بوتيرة أسرع (تحدّد القدرة الإنتاجية كمية الكهرباء التي بوسعنا من الناحية النظرية إنتاجها عندما تكون الشمس في أوج إشراقها والرياح في ذروة اشتدادها؛ أما توليد الطاقة فيحدِّد الكمية الفعلية التي أُنتِجت بعد مراعاة حالات التقطّع، وإقفال محطات الطاقة لإنجاز أعمال الصيانة وعوامل أخرى. غالبًا ما تكون نسبة التوليد أصغر من نسبة الطاقة الإنتاجية، ومن الممكن أن تتدنّى أكثر بعد في الحالات التي تستخدم فيها المصادر المتغيّرة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح).

في ظلّ الاستخدام المتزايد للطاقة الكهربائية، ستتطلّب إزالة الكربون كليًا من شبكة الطاقة الأميركية، بحلول العام 2050، إضافة 75 جيغاواط إضافية من الطاقة الإنتاجية سنويًا، على مدار 30 سنة، وذلك إذا ما افترضنا أنّ كلًا من طاقة الرياح والطاقة الشمسية ستلعب دورًا بارزًا على هذا الصعيد.

هل هذا كثير؟ في خلال العقد المنصرم، بلغ متوسّط الجيغاواط التي كانت تضاف سنويًا 22 جيغاواط. وعلينا أن نضاعف ذلك بمعدل ثلاثة أضعاف سنويًا، ونحافظ على هذه الوتيرة على مدى العقود الثلاثة المقبلة.

من الممكن تحقيق ذلك بسهولة إذا ما استطعنا تصنيع ألواح الطاقة الشمسية وعنفات الرياح بتكلفة بسيطة وبمزيد من الكفاءة، وذلك من خلال ابتكار طرق جديدة للحصول على نسبة أكبر من الطاقة عبر استخدام كمية محدّدة من ضوء الشمس أو قوة الرياح. (تُسهم أفضل ألواح الطاقة الشمسية المتوافرة حاليًا في تحويل أقل من ربع كمية أشعة الشمس التي تضربها إلى كهرباء، بحيث أنّ الحدّ الافتراضي لأكثر الأنواع المتوافرة في الأسواق يوازي 33 %). مع ارتفاع هذه النسبة، يمكننا الحصول على مزيد من الطاقة ضمن المساحة نفسها، ما سيساعد على نشر هذه التقنيات على أوسع نطاق.

غير أنّ الألواح والعنفات الأكثر فعالية ليست كافية، لأن مخطّطات التوسّع التي وضعتها أميركا في القرن العشرين تختلف اختلافًا جذريًا عمّا نحتاج إليه في القرن الواحد والعشرين، بحيث أنّ المواقع ستكتسب أهمية أكثر من ذي قبل.

منذ نشوء الشبكات الكهربائية، حرصت المرافق على إنشاء معظم محطات توليد الطاقة على مسافة قريبة من المدن الأميركية التي تشهد نموًا مضطردًا، حيث من السهل نسبيًا استخدام السكك الحديدية وخطوط الأنابيب لشحن الوقود الأحفوري من مكان استخراجه إلى محطات الطاقة لحرقه وتوليد الطاقة. بنتيجة ذلك، أصبحت شبكة الكهرباء تعتمد على السكك الحديدية وخطوط الأنابيب لنقل الوقود الأحفوري عبر مسافات طويلة إلى محطات الطاقة، ومن ثمَّ على خطوط النقل لتوريد الكهرباء عبر مسافات قصيرة إلى المدن التي تحتاج إليها.

لن يجدي هذا النموذج نفعًا عند استخدام الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، لاسيّما وأنه لا يمكن شحن ضوء الشمس في عربة قطار إلى محطة

الطاقة، بل يجب تحويله إلى كهرباء في موقعه. ولكنّ المشكلة الأساسية تكمن في أنّ ضوء الشمس يكون في أوجه في المناطق الجنوبية الغربية والرياح تكون في ذروتها في السهول الكبرى، أيّ على مسافة بعيدة جدًا من المناطق الحضرية الكبرى.

باختصار، يعتبر تقطّع مصادر الطاقة القوة الرئيسة التي تُسهم في ارتفاع تكلفة المساعي المبذولة لتوفير الكهرباء الخالية من الكربون. ولهذا السبب، تستخدم المدن التي تسعى للانتقال إلى الطاقة النظيفة، الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إلى جانب أساليب أخرى لتوليد الطاقة، كمحطات التوليد الغازية التي يمكن تشغيلها وإيقافها عن العمل عند الاقتضاء، لتلبية الطلب على الكهرباء، مع العلم أنّ هذه الإجراءات المستخدمة في حالات الذروة ليست خالية من الكربون على الإطلاق.

لا بُدّ من الإشارة على سبيل التوضيح إلى أنّ الدور الذي تقوم به مصادر الطاقة المتغيرة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح في سعينا للوصول إلى نقطة الصفر يعتبر أساسيًا. فنحن *في حاجة إليها*، وعلينا أن نحاول تعميم استخدام الطاقة المتجدّدة بأقصى سرعة ممكنة وحيثما يكون هذا الإجراء أكثر توفيرًا. فتكاليف الطاقة الشمسية وطاقة الرياح انخفضت بشكل مذهل خلال العقد المنصرم، بحيث تراجعت مثلًا تكلفة الخلايا الشمسية بمعدل عشر مرّات ما بين العامين 2010 و2020، كما انخفض سعر النظام الشمسي الكامل بنسبة 11 % في العام 2019. ويعود هذا التراجع بشكل أساسي إلى التعلّم عن طريق الممارسة، بمعنى أنّ تكرار تصنيع المنتج نفسه يعزّز التمرس في تصنيعه.

علينا أن نزيل الحواجز التي تمنعنا من الاستفادة إلى أقصى حدٍ ممكن من المصادر المتجدّدة للطاقة. فمن البديهي مثلًا الاعتقاد بأنّ شبكة الكهرباء في أميركا هي عبارة عن شبكة واحدة مترابطة، مع أنّ الواقع مختلف تمامًا. إذ لا يوجد شبكة واحدة للطاقة، بل مجموعة من الشبكات المتشابكة بشكل فوضوي بحيث يتعذّر نقل الكهرباء إلى مناطق أبعد من مكان توليدها. وباستطاعة أريزونا بيع فائض الطاقة الشمسية إلى جيرانها، ولكن ليس لأي ولاية واقعة في الطرف الآخر من البلاد.

يمكن حلّ هذه المشكلة عبر استخدام آلاف الأميال من الخطوط الكهربائية البعيدة المدى بشكل متقاطع لنقل ما يُعرف بالتيار العالي الجهد. وفي حين أنّ الولايات قد لجأت فعلًا إلى هذه التقنية وقامت بتركيب عددٍ من هذه الخطوط (الخط الأكبر يمتد بين ولاية واشنطن وكاليفورنيا)، لا يمكن الاستهانة بالعقبات السياسية التي تحول دون التحديث الشامل لشبكة الكهرباء.

لا بُدّ في هذا السياق من الأخذ بالاعتبار عدد أصحاب الأراضي، وشركات المنافع العامة، والحكومات المحلية وحكومات الولايات التي ينبغي لنا توليفها لنتمكّن من بناء خطوط الطاقة الكهربائية القادرة على نقل الطاقة الشمسية من المناطق الجنوبية الغربية إلى المستهلكين في نيو إنغلاند. فاختيار الطرق والحصول على حق المرور القانوني، مهمة شاقة بحد ذاتها، خاصة وأنّ بعض الجهات تميل إلى الاعتراض على تمرير أحد خطوط الطاقة الكهربائية الضخمة عبر المتنزهّ المحلي.

من المتوقّع المباشرة بتنفيذ بناء مرفق ترانس ويست إكسبرس، المصمّم لنقل الطاقة التي وُلّدت بوساطة الرياح من وايومنغ إلى كاليفورنيا

والمناطق الجنوبية الغربية، في العام 2021، على أن يبدأ المرفق بالعمل بكامل طاقته في العام 2024، أيّ بعد 17 سنة من بدء التخطيط له.

ولكن في حال نجحنا في إنجاز ذلك، سوف يشكّل تحوّلًا فعليًا. من جهتي، بدأت بتمويل مشروع لبناء نموذج حاسوبي لكافة شبكات الطاقة التي تغطّي الولايات المتحدة. ومن خلال استخدام هذا البرنامج، تمكّن الخبراء من دراسة ما تحتاج إليه الولايات الغربية كافة لبلوغ هدف كاليفورنيا المتمثّل في تأمين 60 % من الطاقة المتجدّدة بحلول العام 2030، وما تحتاج إليه كافة الولايات الشرقية لبلوغ هدف نيويورك المتمثّل في تأمين 70 % من الطاقة النظيفة بحلول العام نفسه. فتبيّن لهم أنه ليس باستطاعة الولايات تحقيق ذلك إلَّا من خلال تعزيز شبكة الطاقة. وأثبت النموذج أيضًا بأنّ المقاربات الإقليمية والوطنية لعملية النقل، بدلًا من تشغيل كلّ ولاية على حدة أجهزتها الخاصة، من شأنها أن تُسهم في تحقيق أهداف كلّ من الولايات المتمثّلة بخفض الانبعاثات من خلال استخدام مصادر الطاقة المتجدّدة بنسبة أقل بـ 30 % مما قد تحتاج إليه بخلاف ذلك. باختصار، يمكننا ادّخار الأموال عبر اختيار أفضل المواقع الممكنة للطاقة المتجدّدة، وبناء شبكة وطنية موحَّدة، وشحن الانبعاثات الإلكترونية الصفرية إلى حيثما تدعو الحاجة إليها [14].

ومن المؤكّد أننا سنحتاج، في السنوات المقبلة، بعد أن تحتلّ الكهرباء حيزًا أكبر من نظام الطاقة الشامل، إلى نماذج مماثلة للشبكات حول العالم، لأنها ستساعدنا على الإجابة عن الأسئلة التالية: أيّ مزيج من مصادر الطاقة النظيفة من شأنه أن يكون الأكثر كفاءة في مكان معين؟ ما هو الاتجاه الذي يجب أن تسلكه خطوط النقل؟ ما هي الأنظمة التي يمكن أن تشكّل عائقًا،

وما هي الحوافز التي علينا إيجادها؟ آمل أن نشهد على ولادة عدد أكبر من المشاريع المشابهة.

من الإشكاليات الأخرى التي يمكن أن نواجهها، ضرورة تحديث الخدمات الكهربائية في كافة المنازل، لاسيّما وأنّ منازلنا تعتمد على الطاقة الكهربائية بنسبة أكبر من اعتمادها على الوقود الأحفوري (لشحن السيارات التي تعمل على الكهرباء والحفاظ على الدفء في الشتاء) وذلك بما لا يقلّ عن عامل واحد، اثنين، أو أكثر في معظم الحالات. ويتعيّن بالتالي، حفر معظم الشوارع وتنصيب الأعمدة الكهربائية من أجل تركيب الأسلاك، والمحوّلات ومعدّات أخرى أكثر ثقلًا، ما سيُلقي بثقله على كافة المجتمعات تقريبًا وسيتركّز التأثير السياسي على المستوى المحلي.

من الممكن أن تُسهم التكنولوجيا في تخطّي بعض العقبات السياسية المتّصلة بالتحديثات المطلوبة. إذ يمكن مثلًا ألَّا تكون خطوط الطاقة مؤذية للنظر إذا ما وُزِّعت تحت الأرض. ولكن طمر خطوط الطاقة الكهربائية يزيد التكلفة بعامل يُراوح بين 5 و10. (المشكلة هي الحرارة: فحرارة خطوط الطاقة الكهربائية ترتفع عند مرور الكهرباء فيها. في حال كانت موزّعة فوق مستوى الأرض، تتبدّد الحرارة في الهواء، ولكنّ الحرارة لن تجد مكانًا لتتسلّل إليه تحت الأرض. ما يمكن أن يؤدّي إلى ذوبان خطوط الطاقة الكهربائية في حال ارتفاع درجات الحرارة بشكل كبير). يعمل بعض الشركات على الجيل الجديد من النقل حيث يمكن التخلّص من مشكلة الحرارة وخفض تكلفة الخطوط الموزّعة تحت الأرض إلى حدٍ بعيد. ولا شيء يضاهي من حيث الأهمية تعميم نشر الطاقة المتجدّدة وتحسين عملية النقل. فإذا لم نبادر إلى تحديث شبكتنا ملقين بهذا العبء على كلّ منطقة على حدة، من الممكن أن تتخطّى العلاوة الخضراء نسبة 15 % أو 30 % لتصبح 100 % أو أكثر. علينا

استخدام كميات كبيرة من الطاقة النووية (سأعود للحديث عنها في القسم التالي)، وإلَّا سنجد أنفسنا مرغمين على تركيب أكبر قدر ممكن من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وإيجاد مساحة كافية لها لنتمكّن من بلوغ نقطة الصفر. من الصعب تحديد حجم الطاقة الكهربائية التي يمكن أن توفّرها مصادر الطاقة المتجدّدة في أميركا، ولكننا ندرك أنه ما بين عامنا الحالي والعام 2050، علينا أن نعمل على بنائها بوتيرة أسرع بخمس مرّات أو عشرٍ من الوتيرة الحالية.

ولا تنسى أنّ الولايات المتحدة تعتبر أكثر حظًا من البلدان الأخرى في ما يتعلّق بمصادر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. ويعتبر سعينا إلى توليد نسبة عالية من الكهرباء من الطاقة المتجدّدة الاستثناء وليس القاعدة. لهذا السبب، سيحتاج العالم إلى ابتكارات جديدة في مجال الطاقة النظيفة، حتى بعد نشر استخدام الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

تجري حاليًا بحوث كثيرة على هذا الصعيد. ولعل أكثر ما أحبّه في عملي هو الفرص التي تتسنى لي للقاء كبار العلماء ورجال الأعمال واكتساب المعارف منهم. فقد سمعت على مرّ السنين، من خلال استثماراتي في «بريكثرو إينيرجي» وسوى ذلك، عن اختراقات جديدة من شأنها أن تُحدث ثورة حقيقية في رحلتنا إلى نقطة الصفر لجهة الانبعاثات من الكهرباء. ما تزال هذه الأفكار في مراحل التطوير، بحيث بلغ بعضها مرحلة النضوج النسبي وأثبت فعاليّته من خلال الاختبارات، بينما يجوز وصف بعضها الآخر بالجنون المطلق. ولكننا لا نستطيع التردّد في المراهنة على بعض هذه الأفكار المجنونة، لأنها تعدّ الطريقة الوحيدة لضمان تحقيق بعض الاختراقات.

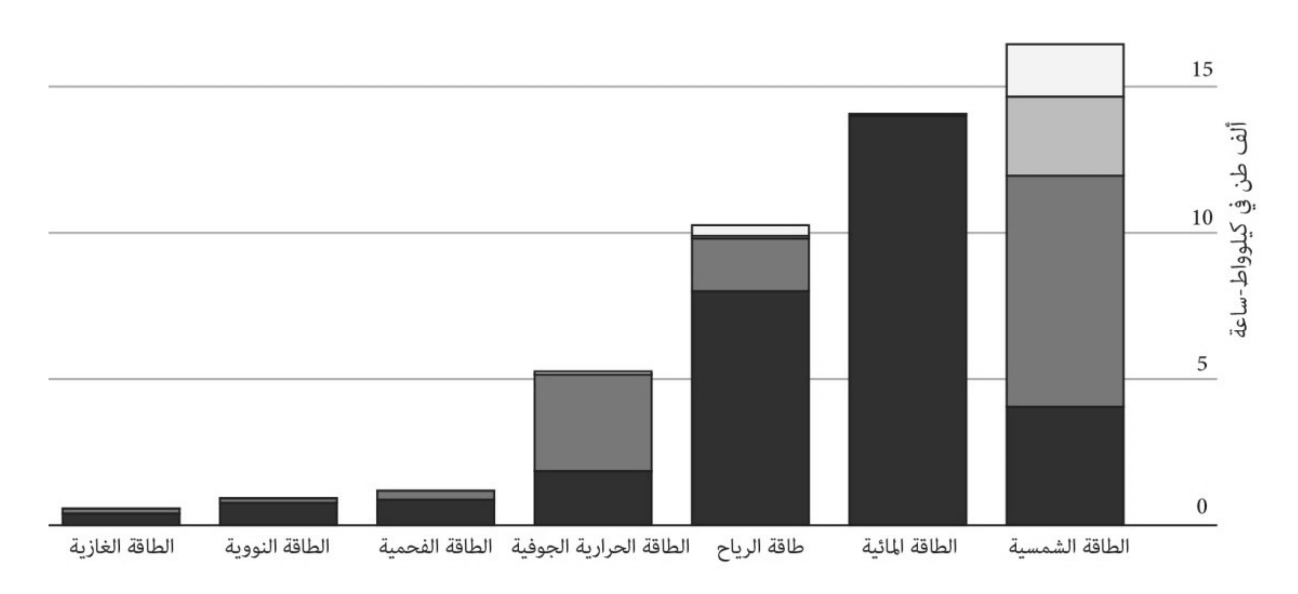
صناعة الطاقة الكهربائية الخالية من الكربون

الانشطار النووي. يمكن تحديد الطاقة النووية بجملة واحدة: إنه المصدر الوحيد للطاقة الخالي من الكربون، الذي يوفّر الطاقة بشكل موثوق، على مدار الساعة، في المواسم كافة، وفي الأماكن كافة على الأرض، بحيث تمّ التثبّت من قدرته على العمل على نطاق واسع.

ليس باستطاعة أيّ مصدر آخر للطاقة النظيفة توفير كمية قريبة لتلك التي توفّرها الطاقة النووية (وأقصد بذلك الانشطار النووي، أو عملية توليد الطاقة من خلال انشطار الذرّات. سأتحدّث عن نظيره، الاندماج النووي، في القسم التالي). تبلغ نسبة إسهام محطات الطاقة النووية في الولايات المتحدة في توليد الكهرباء حوالى 20 %، في حين تحتفظ فرنسا بالحصة الأكبر في العالم، بحيث تسهم الطاقة النووية في توليد 70 % من الكهرباء التي تحتاج إليها. أشير هنا إلى أنّ الطاقة الشمسية وطاقة الرياح توفّران حوالى 9 % من حاجات العالم.

ومن الصعب التنبّؤ بمستقبل حيث بوسعنا إزالة الكربون من شبكة الطاقة الكهربائية بتكلفة ميسورة من دون استخدام الطاقة النووية. في العام 2018، أجرى الباحثون في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا تحليلًا لما يقرب من ألف سيناريو للوصول إلى حالة الصفر في الولايات المتحدة؛ وتضمّنت كلّ السبل المنخفضة التكلفة استخدام مصدر للطاقة نظيف ومتوافر بشكل دائم، كالطاقة النووية. إذ يُتوقّع أن تكون تكلفة توليد الكهرباء الخالية من الكربون مرتفعة جدًا، من دون مصدر مماثل للطاقة.

وتحتلّ محطات توليد الطاقة النووية المرتبة الأولى لجهة الكفاءة في استخدام بعض المواد كالإسمنت والحديد والزجاج. يُظهر الرسم البياني كمية المواد المطلوبة لتوليد وحدة كهرباء من مصادر الطاقة المختلفة:



ماذا يتطلّب بناء محطة لتوليد الطاقة وتشغيلها؟ يتوقّف الأمر على طبيعة المحطة. تعتبر محطة الطاقة النووية أكثر كفاءة من سواها، لكونها تستخدم نسبة أقل من المواد لتوليد كلّ وحدة من الكهرباء (وزارة الطاقة في الولايات المتحدة).

هل لاحظت مدى صغر حزمة الطاقة النووية؟ هذا يعني أنك قادر على الوصول إلى مزيد من الطاقة لكل باوند من المواد المستخدمة لبناء محطة توليد الطاقة وتشغيلها. ينطوي هذا الأمر على أهمية رئيسة، بالنظر إلى كمية غازات الاحتباس الحراري المنبعثة عند إنتاج هذه المواد. (يمكن مراجعة الفصل التالي لمزيد من المعلومات في هذا الشأن). ولا تأخذ هذه الأرقام بالاعتبار حقيقة أنّ مزارع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح تحتاج إلى مساحة أكبر من تلك التي تحتاج إليها محطات توليد الطاقة النووية، وبإمكانها توليد من 25 % إلى 40 من الطاقة مقابل 90 % للطاقة النووية. ما يعني أنّ الفرق أكثر درامية مما يبدو عليه بحسب الرسم البياني أعلاه.

ولا يخفى على أحد أنّ لمحطة توليد الطاقة النووية مشكلاتها؛ فتكلفة بنائها مرتفعة جدًا حاليًا، والأخطاء البشرية من شأنها أن تتسبّب بحوادث، كما أنّ اليورانيوم، أو الوقود الذي تستخدمه، يمكن أن يُستعمل أيضًا في الأسلحة. أما النفايات فخطيرة، ومن الصعب جدًا تخزينها.

تسلّط الحوادث الهامة التي وقعت في جزيرة الثلاثة أميال في الولايات المتحدة وتشيرنوبيل في الاتحاد السوفيتي السابق، وفوكوشيما في اليابان، الضوء على هذه المخاطر. وعوضًا عن العمل بجد لمعالجة المشكلات الفعلية التي أدّت إلى وقوع تلك الكوارث، قرّرنا التوقف عن محاولة تحقيق أيّ تقدّم في هذا الميدان.

تخيّل مثلًا أن يتوصّل الجميع فجأة إلى توافق في الرأي بشأن خطورة السيارات وتسبّبها بوفاة الناس، ما يستدعي التوقّف عن قيادتها والتخلّي عنها. هذا كلام سخيف، وكان لا بُدّ من مقابلته بنقيض ذلك، واللجوء إلى الابتكار لجعل السيارات أكثر أمانًا. بالتالي، ابتكرنا أحزمة الأمان والأكياس الهوائية للحؤول دون انقذاف الركاب من زجاج السيارة الأمامي، ومواد أكثر أمانًا وتصاميم أفضل لتوفير مزيد من الحماية للركّاب خلال الحوادث، كما بدأنا بتركيب كاميرات للرؤية الخلفية لحماية المارّة في مواقف السيارات.

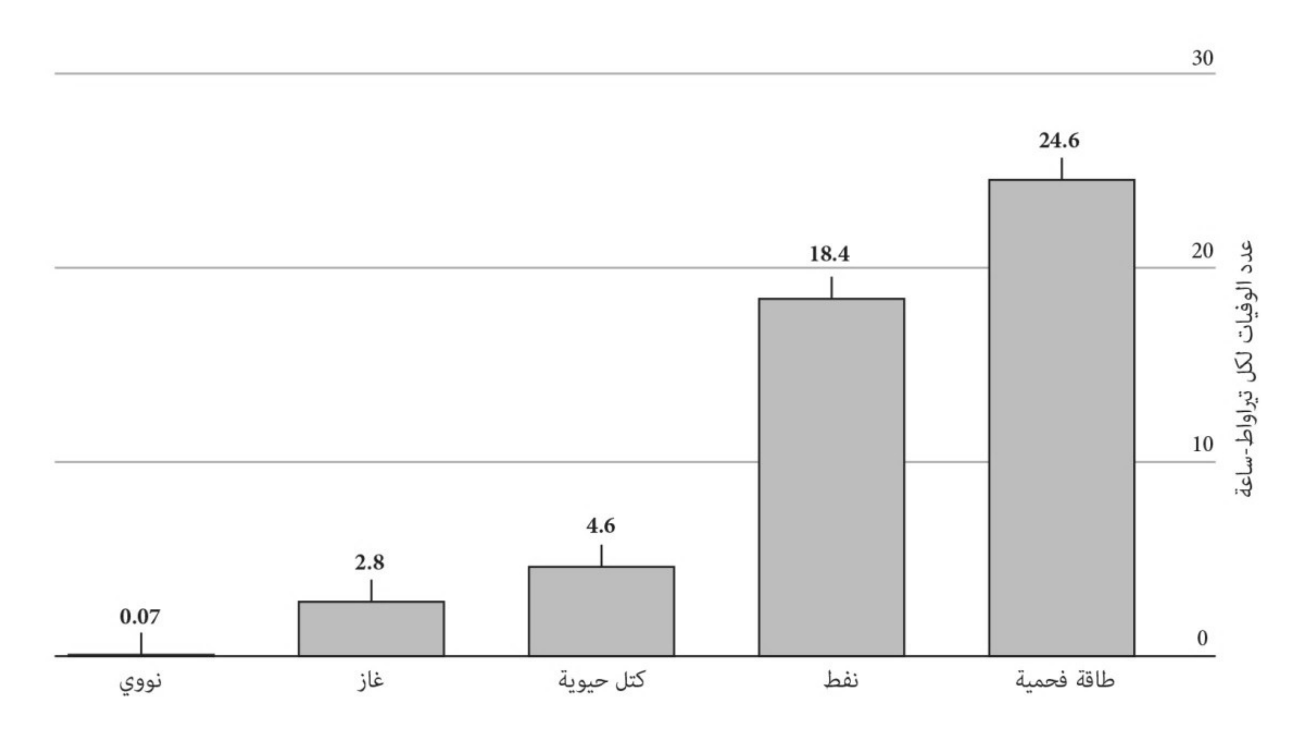
إنّ عدد الوفيات الناجمة عن الطاقة النووية هو أقل بكثير من تلك الناجمة عن حوادث السيارات، كما وأنه أقل بكثير من عدد الوفيات الناجمة عن أيّ وقود أحفوري.

ومع ذلك، علينا أن نُدخل عليها التحسينات اللازمة، تمامًا كما فعلنا على مستوى قطاع السيارات، عبر تحليل كلّ مشكلة على حدة والعمل على حلّها

بشكل مبتكر.

اقترح العلماء والمهندسون عددًا من الحلول المتنوّعة. وأنا متفائل جدًا بشأن مقاربة شركة تيرا باور، التي أسّستها في العام 2008، وتضمّ مجموعة من أفضل المفكّرين في حقل الفيزياء النووية والنماذج الحاسوبية لتصميم الجيل التالي من المفاعلات النووية.

بما أننا على ثقة في أنّ الجميع سيرفضون السماح لنا ببناء مفاعلات تجريبية في العالم الحقيقي، قمنا بإنشاء مختبر لأجهزة الكومبيوتر العملاقة في بيلڤو، في واشنطن، حيث يتولى الفريق إدارة برامج محاكاة رقمية لتصاميم المفاعلات المختلفة. وأظن أننا تمكّنا من وضع نموذج قادر على حل كافة المشكلات الرئيسة عبر استخدام تصميم يُعرف بمفاعل الموجة المتحرّكة.



هل الطاقة النووية خطيرة؟ لا تعتبر خطيرة مقارنة بعدد الوفيات التي تسبّبها كلّ وحدة كهربائية، كما يظهر الرسم. الأعداد هنا تغطّي عملية توليد الطاقة بكاملها، وكذلك المشكلات البيئية التي تسبّبها، مثل

التلوّث. (عن: عالمنا في بيانات)

يتميّز مفاعل تيرا باور، من حيث تصميمه، بإمكانية تشغيله من خلال أنواع مختلفة من الوقود الأحفوري، بما في ذلك نفايات المنشآت النووية الأخرى. ويتميّز أيضًا بإنتاجه كمية من النفايات أقل بكثير من تلك التي تنتجها محطات الطاقة القائمة حاليًا، وإمكانية تشغيله بالكامل بشكل آلي لاستبعاد إمكانية حدوث أخطاء بشرية، كما ويمكن بناؤه تحت الأرض لحمايته من أيّ اعتداء. ويعتبر التصميم آمنًا بطبيعته، ويشتمل على ميزات مبدعة للتحكّم بالمفاعل النووي؛ فالوقود الإشعاعي موضوع مثلًا في مشابك قابلة للتمدّد في حال ارتفاع درجات حرارتها، ما يؤدّي إلى إبطاء عمل المفاعل ويمنع التسخين الزائد. وحدها قوانين الفيزياء قادرة على الوقاية بشكل فعلي من الحوادث.

ما نزال على بعد سنوات طويلة من وضع حجر أساس المحطة الجديدة. فتصميم تيرا باور متوافر داخل أجهزتنا الحاسوبية العملاقة فحسب؛ ونحن نتواصل مع الحكومة الأميركية بشأن بناء النموذج الأولي.

الاندماج النووي. تتوافر مقاربة أخرى مختلفة كليًا للطاقة النووية من شأنها أن تأتي بثمار واعدة على مستوى توفير الكهرباء للمستهلكين ولكن بعد عقد من الآن على الأقل. فبدلًا من توليد الطاقة من انشطار الذرّات، على غرار ما ذكرنا آنفًا، يمكن دفع الذرّات إلى الالتحام أو الاندماج ببعضها.

يرتكز الاندماج النووي إلى عملية أساسية مشابهة لتلك التي تُسهم في إنتاج الطاقة الشمسية. تبدأ العملية بتسخين الغاز، (مع الإشارة إلى أنّ معظم البحوث ركزت على أنواع معيّنة من الهيدروجين) إلى درجة عالية، تزيد عن 50 مليون درجة مئوية، وذلك عندما يكون مشحونًا كهربائيًا في حالة تُعرف بالبلازما. فتبدأ الجُسيمات، على هذه الحرارة المرتفعة جدًا، بالتحرّك بشكل

سريع جدًا، فترتطم ببعضها وتندمج معًا، على غرار ما تفعل ذرّات الهيدروجين في الشمس. ومع اندماج جسيمات الهيدروجين، تتحوّل إلى هيليوم، مُطْلِقةً في خلال تحوّلها طاقة كبيرة جديدة، يمكن استخدامها في توليد الكهرباء (يستخدم العلماء طرقًا متنوّعة لاحتواء البلازما، بحيث ترتكز الطرق الأكثر شيوعًا إلى استعمال مغنطيسات هائلة أو أنظمة الليزر).

على الرغم من أنّ عملية الاندماج النووي ما تزال في المرحلة التجريبية، إلَّا أنها تحمل وعودًا كثيرة، خاصة وأنّ الوقود اللازم لتشغيلها، والمتمثّل في عناصر متوافرة بكثرة ومنها الهيدروجين، ميسور التكلفة. يمكن استخراج النوع الأساسي من الهيدروجين المستخدم في الاندماج من مياه البحار، بحيث أنّ الكمية المتوافرة منه تكفي لتلبية حاجات العالم إلى الكهرباء لآلاف السنين المقبلة. تبقى النفايات الناتجة عن الاندماج إشعاعية لمئات السنين، في حين أنّ النفايات الناجمة عن البلوتونيوم وعناصر الانشطار النووي الأخرى تبقى إشعاعية لمئات آلاف السنين، وبمستوى أقل، ما يعني أنها تضاهي من حيث خطورتها نفايات المستشفيات الإشعاعية. ولا يمكن أن تسبّب تفاعلات متسلسلة قد تخرج عن السيطرة، لأنّ عملية الاندماج تتوقّف فور إيقاف الإمداد بالوقود أو إطفاء الجهاز الذي يحتوي على البلازما.

يعتبر الاندماج النووي، من الناحية العملية، صعب التطبيق. يتداول علماء الطاقة النووية هذه النكتة القديمة: «الاندماج لن يتم قبل 40 سنة، وسيبقى كذلك». (أقرّ بأنني أستخدم كلمة «نكتة» بشكل مطلق). تتمثّل إحدى العقبات الكبرى في ضرورة توفير كميات ضخمة من الطاقة لإطلاق عملية التفاعل الاندماجي، ما يعني أنّ ثمارها لن تكون مساوية لمتطلّباتها. وبالنظر إلى درجات الحرارة المرتفعة جدًا التي يستلزمها ذلك، سيشكّل بناء المفاعل تحديًا هندسيًا بارزًا. إذ لم يُصمَّم أيّ من المفاعلات المتوافرة حاليًا لتوليد

الطاقة الكهربائية التي يحتاج المستهلكين إليها، بل هي مصمّمة لأغراض متعلّقة بالبحوث فحسب.

يجري العمل حاليًا على بناء أحد أكبر المشاريع في هذا الصدد بالتعاون بين ستة بلدان والاتحاد الأوروبي، وهو عبارة عن مرفق تجريبي في جنوب فرنسا يُعرف بالمفاعل الحراري النووي التجريبي الدولي. بدأت أعمال بناء المرفق في العام 2010 وما تزال مستمرة حتى اليوم. ومن المتوقّع أن يبدأ المرفق في منتصف العشرينيات من القرن الواحد والعشرين بإنتاج البلازما الأولى، على أن يتمكن من توليد فائض من الطاقة، يفوق بعشر مرات الكمية اللازمة لتشغيله، في أواخر الثلاثينيات من القرن الحالي. ومن المتوقّع أن يكون ذلك المرفق مثابة «كيتي هوك» القرن الواحد والعشرين، بحيث سيشهد على إنجاز أساسي سيضعنا على الطريق الصحيح لبناء محطة للبيان العملي.

ومن المتوقّع أيضًا أن تُسهم الابتكارات التي سترى النور لاحقًا في جعل الاندماج عمليًا بدرجة أكبر. فأنا أعرف مثلًا عددًا من الشركات التي تستخدم موصلات فائقة لدرجات الحرارة العالية لإنشاء مجالات مغنطيسية أكثر قوة قادرة على احتواء البلازما. في حال نجاح هذه المقاربة، ستسمح لنا بتصنيع مفاعلات اندماجية أصغر حجمًا، وبالتالي أقل تكلفة وضمن فترة زمنية قصيرة.

ولكنّ المشكلة الأساسية لا تكمن في عدم امتلاك أيّ من الشركات أيّ اختراق باهر من شأنه أن يكون مفيدًا في الانشطار أو الاندماج النووي. فالمهم هو أن يعود العالم إلى التعامل بجدية مع التطوّرات الحاصلة في حقل الطاقة النووية، لأنها تحمل وعودًا كثيرة ولا يمكن بالتالي تجاهلها.

الرياح البحرية. تنطوي عنفات الرياح الموزّعة في المحيطات أو غيرها من المسطّحات المائية على ميزات مختلفة. إذ يمكن توفيرها لعدد كبير من المدن الكبرى الواقعة بمعظمها قرب السواحل لأنّ توليدها عل مسافة قريبة من أماكن استهلاكها يخفّف عنا وطأة المشكلات المتّصلة بعملية النقل. كما أنّ الرياح البحرية تعصف بالإجمال بشكل منتظم، وبالتالي لا تنطوي مشكلة التقطّع على أيّ أهمية في هذا السياق.

على الرغم من هذه الميزات الإيجابية، لم يُجاوز إسهام طاقة الرياح البحرية في قدرة العالم الإجمالية على توليد الطاقة نسبة 0.4 % في العام 2019، وهي مركّزة بمعظمها في أوروبا، وبشكل خاص في البحر الشمالي؛ في الولايات المتحدة، بلغ حجم القدرة الكهربائية التي تُولَّد من خلال المشروع الوحيد القائم قبالة شاطئ رود أيلاند 30 ميغاواط فقط. تذكر أن أميركا تستهلك حوالى 1,000 جيغاواط، ما يعني أنّ الرياح البحرية تؤمّن 32,000/1 من القدرة الكهربائية في البلاد.

تشهد الصناعات الخاصة بطاقة الرياح البحرية تقدّمًا مضطردًا. فالشركات تبحث عن طرق لتصنيع عنفات أكبر حجمًا ليتمكّن كلّ منها من توليد كمية أكبر من الطاقة، كما وتسعى إلى حلّ التحدّيات الهندسية المتّصلة بوضع أجسام معدنية كبيرة في المحيط. ومن خلال إسهام هذه الابتكارات في انخفاض الأسعار، بدأت البلدان بتركيب مزيد من العنفات، وارتفعت نسبة مستخدمي طاقة الرياح البحرية 25 % سنويًا في خلال السنوات الثلاث الماضية. تعتبر حاليًا المملكة المتحدة المستخدم الأكبر في العالم لطاقة الرياح البحرية، والفضل يعود إلى الإعانات الذكية التي قدّمتها الحكومة لتشجيع الشركات على الاستثمار فيها. ووضعت الصين أيضًا استثمارات كبيرة

في طاقة الرياح البحرية ومن المتوقّع أن تصبح أكبر مستهلك لها على المستوى العالمي بحلول العام 2030.

تكثر في الولايات المتحدة الرياح البحرية القوية، لاسيّما في نيو إنغلاند، شمال كاليفورنيا وأوريغانو، ساحل الخليج والبحيرات العظمى؛ من الناحية النظرية، بوسعنا الاستفادة منها لتوليد 2,000 جيغاواط، وهي كمية كافية لتلبية حاجاتنا الحالية. ولكن إذا أردنا الاستفادة من هذه الطاقة الكامنة، علينا أن نسهّل عملية إنشاء العنفات؛ فالحصول على ترخيص يفرض اليوم تحديات كثيرة على المستوى البيروقراطي: عليك أن تختار عقدًا من عقود الإيجار الفدرالية المحدودة، وتخوض عملية تمتد عدّة سنوات لتتمكّن من وضع بيان بالتأثير البيئي، لتعود بعدها وتستحصل على مزيد من التراخيص المحلية وعلى مستوى الولاية. ومن الممكن أن تواجه في أيّ خطوة تخطوها معارضة (بحق أو من دون حق) من مالكي العقارات البحرية، القطاع السياحي، الصيادين، والمجموعات الداعية للمحافظة على البيئة.

تعتبر طاقة الرياح البحرية من القطاعات الواعدة؛ فهي قليلة التكلفة وبإمكانها أن تلعب دورًا رئيسًا في مساعدة الدول على التخلّص من الكربون.

الطاقة الحرارية الجوفية. تقع في باطن الأرض، على عمق يراوح بين بضع أقدام إلى ميل تقريبًا، صخور حارّة يمكن استعمالها لتوليد طاقة كهربائية خالية من الكربون. يمكن ضخّ المياه تحت تأثير ضغط عالٍ باتجاه الصخور، حيث تمتصّ الحرارة ويظهر تجويف آخر، ليتم بعدها تشغيل العنفات أو توليد الكهرباء بطريقة أخرى.

غير أنّ استغلال الحرارة الكامنة تحت أقدامنا ينطوي على بعض الجوانب السلبية، بحيث أنّ كثافة الطاقة، أو حجم الطاقة الذي يُوَلَّد لكل متر مربع، منخفض نسبيًا. في كتابه المذهل الصادر في العام 2009 والمعنوَن «الطاقة المستدامة - من دون الهواء الساخن»، يقدّر ديڤيد ماكاي بأن الطاقة الحرارية الجوفية قابلة لتلبية 2 % فقط من حاجة المملكة المتحدة للطاقة، ويتطلّب توفير هذه النسبة البسيطة استغلال كلّ متر مربع في البلاد والقيام بأعمال الحفر مجانًا.

كما يتطلّب الأمر حفر الآبار للوصول إليها، ومن الصعب التأكّد مسبقًا ما إذا كانت أيّ بئر معيّنة قابلة لإنتاج الحرارة التي نحتاج إليها، أو لكم من الوقت. إذْ تبيّن أنّ ما يقرب من 40 % من الآبار التي حُفِرت بحثًا عن الطاقة الحرارية الجوفية كانت ناضبة؛ كما لا تتوافر الطاقة الحرارية الجوفية إلَّا في أماكن معينة من العالم، بحيث أنّ الأماكن الأكثر ملاءمة هي التي تتميّز بنشاطها البركاني فوق المتوسّط.

في حين أنّ هذه العقبات تشير إلى أنّ إسهام الطاقة الحرارية الجوفية في الاستهلاك العالمي للطاقة الكهربائية سيكون بسيطًا، إلَّا أن معالجة كلّ من هذه المشكلات على حدة، على غرار ما حصل في قطاع السيارات، تستحق العناء. فالشركات تعمل على تطوير ابتكارات متنوّعة ترتكز على التطوّرات التقنية التي أسهمت في زيادة إنتاجية أعمال التنقيب عن النفط والغاز في خلال السنوات القليلة الماضية. ويسعى بعضها مثلًا إلى تطوير أجهزة استشعار متقدّمة لتسهيل عملية العثور على الآبار الحرارية الجوفية الواعدة، فيما يستخدم بعضها الآخر الحفر الأفقي ليتمكّن من الاستفادة من مصادر الطاقة الحرارية بشكل أكثر أمانًا وفعالية. إنه خير مثال على كيفية

إسهام التقنيات التي طُوِّرت في الأصل من أجل صناعة الوقود الأحفوري في الدفع بنا نحو بلوغ نقطة الصفر على مستوى الانبعاثات.

تخزين الكهرباء

البطاريات. لم أكن أتوقّع أن تأخذ مني عملية اكتساب المعلومات عن البطاريات كلّ هذا الوقت. (لم أكن أتوقّع أن أنفق هذا القدر من المال على الشركات الناشئة المعنية بتصنيع البطاريات). لدهشتي، تبيّن أنّ من الصعب جدًا تحسين البطاريات التي تشغّل جهاز الكومبيوتر المحمول والهاتف الجوّال. على الرغم من كافة القيود المفروضة على الليثيوم، فقد أجرى المخترعون كثيرًا من الدراسات على المعادن التي يمكن استخدامها في البطاريات، وتبيَّن لهم أنّ من غير المحتمل أن تتوافر أيّ مواد قابلة لتصنيع بطاريات أفضل بكثير من تلك التي نعمل على تصنيعها حاليًا. أظن أنه من الممكن تحسينها بمعامِل 3، ولكن ليس بمعامِل 50.

ومع ذلك، من الصعب بمكان إحباط المخترع الكفؤ. فقد قابلت عددًا من المهندسين اللامعين الذين يعملون على تطوير بطاريات ميسورة التكلفة قابلة لتخزين كمية من الكهرباء كافية لمدينة بكاملها، بطاريات بمقياس شبكة مقارنة بالبطاريات الصغيرة المستخدمة لتشغيل الهاتف أو جهاز الكومبيوتر، بحيث تحتفظ بها لمدّة زمنية كافية ريثما يتمّ اجتياز مرحلة تقطّع مصادر الطاقة الموسمي. ويعمل مخترعٌ أكنّ له الإعجاب الشديد، على تطوير بطارية قائمة على المعادن السائلة بدلًا من المعادن الصلبة المستخدمة في البطاريات التقليدية. والفكرة هنا هي أنّ المعدن السائل يساعد على تخزين كمية أكبر من الطاقة وبسرعة فائقة، وهو ما نحتاج إليه لنتمكّن من تزويد

مدينة بكاملها بالطاقة. تمّ التثبُّت من هذه التقنية مخبريًا، والفريق يعمل حاليًا على جعلها ميسورة التكلفة واقتصادية بما يكفي والتحقّق من إمكانية تطبيقها ميدانيًا.

ويعمل آخرون على تطوير ما يُعرف ببطاريات التدفّق، التي من شأنها تخزين السوائل في خزّانات منفصلة وتوليد الطاقة عبر ضخّ السوائل معًا. فمع زيادة حجم الخزّانات، تزداد كمية الطاقة القابلة للتخزين، ومع زيادة حجم البطاريات، تصبح أكثر اقتصادية.

الطاقة الكهرومائية بالضخّ. ترتكز هذه الطريقة على تخزين كمية من الطاقة تكفي لمدينة بكاملها عبر اتّباع التقنية التالية: عند توافر طاقة كهربائية ميسورة التكلفة (عندما تهبّ رياح شديدة مثلًا وتجعل العنفات تعمل بسرعة فائقة)، يمكن ضخّ المياه نحو خزّان في أعلى التل وحفظها فيه؛ ولدى ازدياد الطلب على الطاقة، يُسمح للمياه بالتدفّق نحو أسفل التل لاستخدامها في تدوير العنفة وتوليد مزيد من الطاقة.

تعتبر الطاقة الكهرومائية بالضخّ من أبرز أشكال تخزين كهرباء بمقياس شبكة في العالم. ولسوء الحظ أنّ هذا لا يعني شيئًا، لأنّ المرافق العشرة الكبرى في الولايات المتحدة قادرة على تخزين ما يوازي ساعة من الاستهلاك المحلّي للطاقة. ربما كان من السهل تخمين سبب عدم إمكانية تطبيق هذه التقنية: فضخّ المياه إلى خزّان في أعلى التل يتطلّب توافر خزّان كبير من المياه، إضافة إلى التل طبعًا. وفي حال عدم توافر هذين العنصرين، فسيكون حظّك عاثرًا.

يسعى بعض الشركات إلى إيجاد بدائل؛ فإحدى الشركات تبحث في إمكانية استبدال الحصى بالمياه في أعلى التل مثلًا، في حين تعمل شركة أخرى على الاستغناء عن التل ولكن ليس عن المياه، بحيث يمكن ضخ المياه في باطن الأرض، وتخزينها تحت تأثير الضغط، ومن ثمَّ إطلاق المياه عندما تدعو الحاجة إلى تدوير العنفات. في حال نجاح هذه المقاربة، ستكون باهرة لأنّ المعدّات المستخدمة فوق سطح الأرض قليلة ولا تستدعي القلق حيالها.

تخزين الطاقة الحرارية. ترتكز هذه الفكرة إلى استخدام الطاقة الكهربائية الميسورة التكلفة لتسخين بعض المواد. وعند الحاجة إلى توليد مزيد من الطاقة، يمكن استخدام الحرارة لتوليد الطاقة عبر محرّك حراري. يمكن أن تصل فعالية هذه التقنية إلى 50 % أو 60، وهي نسبة لا بأس بها. وبحسب المهندسين، يمكن لبعض المواد الحفاظ على سخونتها لمدة طويلة من دون خسارة الكثير من الطاقة؛ وتمثّل المقاربة الواعدة، التي يعمل كثير من العلماء والشركات على تطويرها، في تخزين الحرارة في الملح المنصهر.

نسعى في تيرا باور إلى وضع تصوّر لكيفية استخدام الملح المنصهر للحؤول (في حال استطعنا بناء محطة) دون الدخول في منافسة مع الكهرباء المولَّدة من الطاقة الشمسية خلال النهار. تتمثّل الفكرة الأساسية في تخزين الحرارة المولَّدة في خلال النهار، وتحويلها إلى كهرباء في الليل، وذلك في حال عدم توافر الطاقة الشمسية الميسورة التكلفة.

الهيدروجين المنخفض التكلفة. نأمل أن نتوصّل إلى اختراقات باهرة على مستوى التخزين. ولكن من الممكن أن يظهر بعض الابتكارات، ويبيّن أنّ

هذه الأفكار كلها بالية، تمامًا كما ظهرت أجهزة الكومبيوتر الشخصية وأثبتت أنّ الآلة الكاتبة لم تعد ضرورية نوعًا ما.

يمكن للهيدروجين المنخفض التكلفة أن يؤدّي دورًا مماثلًا على مستوى تخزين الكهرباء.

ومردّ ذلك إلى أنّ الهيدروجين يُعتبر عنصرًا أساسيًا في خلايا الوقود للبطاريات. تستمد خلايا الوقود طاقتها من التفاعل الكيميائي بين نوعين من الغازات، الهيدروجين والأكسجين، إلى جانب المشتق الثانوي والمتمثّل في المياه. يمكن استخدام الطاقة الكهربائية من المزارع الشمسية أو مزارع الرياح لإنتاج الهيدروجين، وتخزينه كغاز مضغوط أو وفق أيّ شكل آخر، ومن ثمَّ وضعه في خلايا الوقود لتوليد الطاقة عند الطلب. في الواقع، تعتمد هذه التقنية على استخدام الكهرباء النظيفة لإنتاج وقود خالٍ من الكربون، يمكن تخزينه لعدّة سنوات وتحويله إلى كهرباء في أيّ لحظة. كما تُسهم أيضًا في معالجة مشكلة المواقع التي أشرتُ إليها آنفًا؛ ففي حين أنه لا يمكن شحن ضوء الشمس في عربة قطار، تستطيع تحويلها أولًا إلى وقود ومن ثمَّ بوسعك شحنها بالطريقة التي تراها مناسبة.

ولكنّ المشكلة التي نواجهها حاليًا هي عملية إنتاج الهيدروجين من دون التسبّب بانبعاثات كربونية عالية التكلفة، ولا تضاهي من حيث فعاليّتها تخزين الكهرباء مباشرة في البطارية، لأنّ عليك أن تستخدم أولًا الكهرباء لإنتاج الهيدروجين ليتسنّى لك استخدام الهيدروجين في مرحلة لاحقة لتوليد الكهرباء. واتّخاذ هذه الخطوات كلها إنما يعني استنفادًا للطاقة على مدى الطريق.

والهيدروجين عبارة عن غاز خفيف الوزن ومن الصعب تخزينه في مستوعب ذي حجم معقول. صحيح أنّ تخزين الغاز يصبح سهلًا عند ضغطه (يمكن ضغطه أكثر ليصبح بحجم المستوعب)، ولكنّ جزيئات الهيدروجين صغيرة جدًا، عندما تكون تحت الضغط، بحيث من الممكن أن تتنقل عبر المعادن. يشبه ذلك تسرّب الغاز ببطء من قارورة الغاز أثناء تعبئتها.

وفي الختام، تتطلّب عملية إنتاج الهيدروجين (المعروفة بالتحليل الكهربائي) مواد مختلفة (معروفة بالمحلّلات الكهربائية) مكلفة إلى حد بعيد. ففي كاليفورنيا حيث تتوافر حاليًا السيارات التي تعمل على خلايا الوقود، توازي تكلفة الهيدروجين دفع 5.60 دولارات أميركيّة للحصول على غالون بنزين. لهذا السبب، يُجري العلماء اختبارات بحثًا عن مواد أقل تكلفة يجوز استخدامها كمحلّلات كهربائية.

ابتكارات أخرى

التقاط الكربون. بوسعنا الاستمرار في توليد الكهرباء بوساطة الغاز الطبيعي والفحم على أن نعمل على سحب ثاني أكسيد الكربون قبل بلوغه الغلاف الجوي. تُعرف هذه التقنية بالتقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه وتتضمّن تركيب جهاز في محطات توليد الطاقة بالوقود الأحفوري لامتصاص الانبعاثات. وفي حين أنّ هذه الأجهزة الخاصة بنقاط الالتقاط متوافرة منذ عدّة عقود، تعتبر تكلفة شرائها وتشغيلها باهظة، ولا تلتقط سوى 90 % من غازات الاحتباس الحراري ذات الصلة، كما أنّ شركات الطاقة لا تحقّق أيّ أرباح من تشغيلها. لهذا السبب، بقي نطاق استخدامها ضيقًا جدًا، على الرغم من أنّ

السياسات العامة الذكية قادرة على إيجاد حوافز لاستخدام تقنية التقاط الكربون، وهو موضوع سأتطرّق إليه في الفصلين العاشر والحادي عشر.

ذكرتُ آنفًا تقنية ذات صلة تُعرف بالتقاط الهواء المباشر، وتتضمّن، تمامًا كما يوحي اسمها، التقاط الكربون مباشرة من الهواء. تعتبر تقنية التقاط الهواء المباشر أكثر ليونة من أجهزة نقاط الالتقاط بحيث يمكن استخدامها في أيّ مكان. وفي جميع الاحتمالات، يمكنها أن تؤدّي دورًا حاسمًا لجهة بلوغ نقطة الصفر؛ فقد أثبتت دراسة أجرتها الأكاديمية الوطنية للعلوم أننا سنحتاج سنويًا إلى إزالة حوالى 10 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون، بحلول منتصف القرن، وما يقرب من 20 مليارًا مع مشارفة العقد على نهايته.

بيد أنّ تقنية التقاط الهواء المباشر تشكّل تحدّيًا تقنيًا أكثر حدّة من نقاط الالتقاط، نتيجة انخفاض تركيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء. فالانبعاثات الصادرة مباشرة من محطة للطاقة الفحمية تكون عالية التركيز، بنسبة 10 % من ثاني أكسيد الكربون، ولكن مع بلوغها الغلاف الجوي، وتشغيل أجهزة التقاط الهواء المباشر، تنتشر على نطاق واسع. اختر جزئية بشكل عشوائي من الغلاف الجوي وستجد أنّ احتمال أن تكون ثاني أكسيد الكربون هو 1 من أصل 2,500.

تسعى الشركات إلى تطوير مواد جديدة قادرة على امتصاص ثاني أكسيد الكربون بشكل أفضل، ومن شأنها أن تخفض تكلفة كلّ من أجهزة نقاط الالتقاط والتقاط الهواء المباشر. وتتطلّب المقاربات الحالية لالتقاط الهواء المباشر طاقة كثيرة لإيقاع غازات الاحتباس الحراري في الشّرك، وجمعها وتخزينها بشكل آمن. ومن المحال القيام بهذه الخطوات كلها من دون استهلاك القليل من الطاقة؛ يحدّد قانون الفيزياء الحدّ الأدنى للكمية المطلوبة.

ولكنّ التقنيات الحديثة تستخدم كميات تجاوز هذا الحدّ الأدنى بكثير، ما يعني أنّ المجال ما يزال مفتوحًا أمام مزيد من التحسينات.

استخدام كمية أقل. غالبًا ما كنت أسخر من المفهوم القائل إنّ استخدام الطاقة بشكل أكثر كفاءة من شأنه أن يُحدث فرقًا على مستوى التغيُّر المناخي، مبرِّرًا ذلك بما يلي: إذا كانت الموارد المتوافرة لخفض الانبعاثات محدودة (وهي محدودة فعلًا)، يمكن إحداث فرق حقيقي عبر الانتقال إلى نقطة الصفر لجهة الانبعاثات بدلًا من إنفاق المال في محاولة خفض الطلب على الطاقة.

لم أتخلَّ عن تلك الفكرة بشكل كلي، ولكنني حاولت أن أجعلها أكثر ليونة، خاصة بعد إدراكي لحجم المساحات المطلوبة لتوليد مزيد من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. إذ تحتاج المزرعة الشمسية إلى مساحة أكبر بخمس مرّات إلى 50 مرّة لتتمكّن من توليد كمية من الطاقة الكهربائية توازي تلك المولَّدة من محطة التوليد الفحمية، كما أنّ مزرعة الرياح تحتاج إلى مساحة أكبر بمعدل 10 مرّات من مزرعة الشمس. علينا أن نبذل قصارى جهدنا لمضاعفة احتمال تمكّننا من توفير الطاقة النظيفة بنسبة 100 %، وستكون مهمتنا أسهل بكثير إذا ما خفضنا الطلب على الطاقة الكهربائية حيثما أمكن ذلك. فكل ما يمكن أن يساعد على خفض النطاق الذي علينا بلوغه يعتبر مفيدًا.

تتوافر أيضًا مقاربة ذات صلة بما سبق تُعرف بتحويل الأحمال أو تحويل الطلب، والتي تقضي باستهلاك الطاقة بشكل أكثر انتظامًا خلال ساعات النهار. فإذا نجحنا في تطبيق ذلك على نطاق واسع، سيمثّل تحويل الأحمال تغييرًا جذريًا في طريقة تفكيرنا حيال تأمين الطاقة في حياتنا. فنحن نميل في

الوقت الحالي إلى توليد الطاقة عند استخدامها، بحيث نعمل مثلًا على تدوير المحطات الكهربائية لإضاءة مصابيح المدينة في الليل. أما من خلال تحويل الأحمال، فسنفعل العكس، أيّ أننا سنستخدم الطاقة الكهربائية في الأوقات التي تكون فيها تكلفة توليدها منخفضة.

يمكن مثلًا إشعال جهاز تسخين المياه عند الساعة الرابعة بعد الظهر بدلًا من السابعة مساء، حين يكون الطلب على الطاقة أقل. كما يمكن توصيل السيارة التي تعمل على الكهرباء بالقابس عند عودتك إلى المنزل، وضبطها بشكل آلي لتبدأ بشحن نفسها عند الساعة الرابعة صباحًا حين تكون تكلفة الكهرباء منخفضة نتيجة تراجع الطلب عليها. على المستوى الصناعي، يمكن إجراء العمليات التي تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة كمعالجة مياه الصرف الصحي وإنتاج وقود الهيدروجين في ساعات النهار التي يكون فيها الوصول إلى الطاقة الكهربائية أسهل.

إذا نجحت تقنية تحويل الأحمال في إحداث تأثير هام على هذا الصعيد، سنحتاج إلى إدخال بعض التغيُّرات على السياسات إلى جانب عدد من الإنجازات التكنولوجية. وينبغي على شركات المنافع العامة تحديث تعرفة الكهرباء في خلال ساعات النهار مع مراعاة التحوّلات في العرض والطلب، على أن يكون جهاز تسخين المياه والسيارة التي تعمل على الكهرباء على قدر كبير من الذكاء للاستفادة من المعلومات الخاصة بالتعرفة والاستجابة بما يتوافق مع ذلك. وفي الحالات القصوى، عندما يتعذّر الوصول إلى الكهرباء، علينا أن نتحلّى بالقدرة على فرز الطلب، أيّ أن نتمكّن من تقنين الكهرباء، وإعطاء الأولوية للحاجات الماسة (كالمستشفيات) وإطفاء الأنشطة غير الضرورية.

ضع في اعتبارك دومًا أننا قد لا نحتاج إلى تنفيذ كلّ الأفكار التي طرحتها لنتمكّن من إزالة الكربون من شبكة الطاقة الكهربائية، لاسيّما وأنّ هذه الأفكار تتداخل فيما بينها. فإذا نجحنا مثلًا في إحداث اختراق لجهة توفير الهيدروجين بتكلفة بسيطة، قد لا نضطر للسعي إلى إيجاد بطارية سحرية.

جلّ ما بإمكاني قوله بكل تأكيد هو أننا في حاجة إلى خطّة عملية لتطوير شبكات جديدة للطاقة قابلة لتوفير الطاقة الكهربائية الموثوقة والخالية من الكربون، كلما دعت الحاجة إليها. إذا سألني جنّي أن أتمنّى أمنية واحدة، أو اختراقًا واحدًا في أحد الأنشطة المسبِّبة للتغيُّر المناخي، سأختار الكهرباء لأنها قادرة على أداء دور بارز في إزالة الكربون من الأجزاء الأخرى من الاقتصاد المادي. سأتطرّق في الفصل التالي إلى أوّل هذه الأجزاء، وأقصد بذلك كيفية صناعة بعض الأشياء كالإسمنت والفولاذ.

الفصل الخامس

كيف نصنع الأشياء؟

29 % من 52 مليار طن في السنة

يقع المقرّ الرئيس لمؤسّستنا في سياتل على بعد ثمانية أميال بالسيارة من مدينة مِدينا، في واشنطن، حيث أقيم وميليندا. ولأتمكّن من الوصول إلى مكتبي، عليّ أن أعبر بحيرة واشنطن وأجتاز ما يُعرف رسميًا باسم جسر إيفرغرين بوينت العائم، على الرغم من أنّ المقيمين في الجوار لا يعرفونه بهذا الاسم؛ فهو بالنسبة إلى السكان المحلّيين الجسر 520، وقد أطلق عليه هذا الاسم تيمنًا بالطريق السريع للولاية الذي يمرّ عبره. يعتبر هذا الجسر الممتد على ما يزيد عن 7,700 قدم أطول جسر عائم في العالم.

في كلّ مرّة أعبر فيها الجسر 520، أتوقّف لحظة لأتأمّل روعة هذا البناء، ليس لأنه أطول جسر عائم في العالم، بل لأنه جسر عائم. كيف يمكن لهذه البنية الضخمة المصنوعة من أطنان من الأسفلت، والخرسانة، والحديد

التي تحمل على سطحها مئات السيارات، أن تعوم فوق البحيرة؟ كيف يعقل ألَّا تغرق؟

تكمن الإجابة في معجزة هندسية قوامها مادة مذهلة تُعرف بالخرسانة. قد يبدو الأمر غريبًا بعض الشيء للوهلة الأولى؛ إذ من البديهي التفكير في الخرسانة على أنها كتلة ثقيلة الوزن ولا يمكن أن تعوم. على الرغم من أنّ الخرسانة يمكن أن تكون صلبة بما يكفي لاستيعاب الإشعاعات النووية في جدران المستشفيات، من الممكن استعمالها لصناعة أشكال مجوّفة، كالأطواف السبعة والسبعين الممتلئة بالهواء والمانعة لتسرّب المياه التي تدعم الجسر 520. تتميّز هذه الأطواف التي تبلغ زنة كلّ منها آلاف الأطنان، بقدرتها على الطفو على سطح مياه البحيرة، ومتانتها الفائقة التي تمكّنها من دعم الجسر وكافة السيارات التي تعبره مسرعة، أو ببطء شديد في أوقات الازدحام الشديد التي نشهدها بصورة يومية.



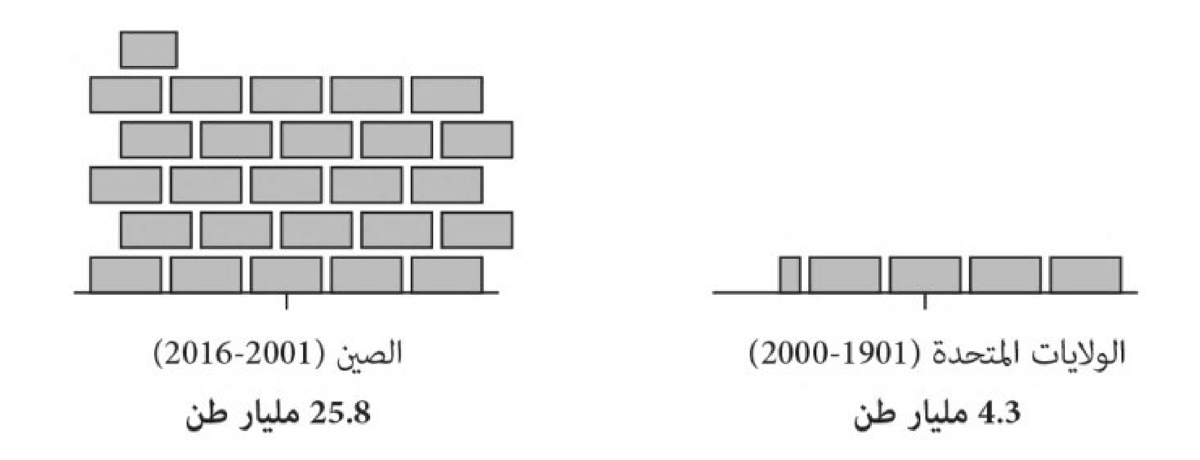
هذا هو جسر 520 في سياتل، الذي أعبره في كلّ مرة أتوجه فيها من منزلي إلى المقر الرئيس لمؤسسة غيتس.

إنه معجزة الهندسة الحديثة.

ولا داعي للبحث طويلًا لتعثر على معجزات أخرى من حولك من صنع الخرسانة. فهي مادة مقاومة للصدأ والتآكل وغير قابلة للاشتعال، وتشكّل جزءًا مهمًا من معظم الأبنية الحديثة. إذا كنت من محبّي الطاقة المائية، عليك أن تقدّر أهمية الخرسانة لأنها جعلت بناء السدود ممكنًا. وفي المرة المقبلة التي تشاهد فيها تمثال الحرية، تأمّل جيدًا الركيزة التي يقف عليها؛ إنها مصنوعة من 27 ألف طن من الخرسانة.

لم تغب ميزات الخرسانة السحرية عن كبار المخترعين في أميركا. فقد حاول مثلًا توماس إديسون ابتكار منازل مبنية بالكامل من الخرسانة، كما كان يحلم بصنع قطع أثاث من الخرسانة كغرف النوم، ولم يتردّد في محاولة تصميم مشغل أسطوانات من الخرسانة.

على الرغم من أنّ تخيّلات إديسون لم تتحقّق أبدًا، إلا أننا استخدمنا كمية كبيرة من الخرسانة. يُجاوز إنتاج أميركا السنوي من الإسمنت، الذي يعتبر المكوّن الرئيس للخرسانة، 96 مليون طن، ويخصَّص بمعظمه لاستبدال أو إصلاح الطرق، والجسور والمباني وبناء أخرى جديدة. ما يعني أن الاستهلاك الفردي السنوي يوازي 600 باوند. ولا بُدّ من الإشارة إلى أنّ الولايات المتحدة ليست المستهلك الأكبر في العالم، بل الصين التي استهلكت في السنوات الستة عشر الأولى من القرن الواحد والعشرين كمية من الإسمنت تفوق تلك التي استخدمتها الولايات المتحدة في خلال القرن العشرين بكامله.



تصنّع الصين كميات هائلة من الإسمنت. فكمية الإنتاج في القرن الواحد والعشرين تفوق كمية إنتاج الولايات المتحدة في القرن العشرين بكامله (هيئة المساحة الجيولوجية الأميركية)

من الواضح أننا لا نعتمد على الخرسانة والإسمنت فحسب، بل نستخدم أيضًا الفولاذ في صناعة السيارات، السفن، القطارات، الثلّاجات، المواقد، آلات المصانع، علب الأطعمة المعلّبة، وحتى أجهزة الكومبيوتر. يتميّز الفولاذ بصلابته، بَخْس ثمنه، متانته، وإمكانية إعادة تدويره إلى ما لا نهاية. كما يُعدّ خير شريك للخرسانة: إذ يكفي أن تدخل القضبان الحديدية في الكتل الخرسانية لتحصل على مواد إنشاء سحرية قادرة على تحمّل أطنان من الأوزان لا تتفكّك عند ليّها. لذا، نحرص على استخدام الخرسانة المسلّحة في معظم أبنيتنا وجسورنا.

إنّ كمية الفولاذ التي يستخدمها الأميركيون توازي كمية الإسمنت أيّ ما يعادل 600 باوند لكل فرد، سنويًا، من دون أن نأخذ في الحسبان الفولاذ الذي نعيد تدويره ونستعمله مرة ثانية.

يعتبر البلاستيك من المواد الأخرى الرائعة، والمتواجدة في كثيرٍ من المنتجات بدءًا من الملابس، والألعاب، وصولًا إلى قطع الأثاث، والسيارات والهواتف الخلوية بحيث يصعب جدًا تعدادها كلها. غير أنّ سمعة البلاستيك

ساءت في الآونة الأخيرة إلى درجة يمكن اعتبارها بالمنصفة جزئيًا، على الرغم من الميزات الكثيرة التي ينطوي عليها. فخلال كتابة هذا الفصل، اخترت الجلوس على طاولة المكتب حيث أرى البلاستيك في كلّ مكان من حولي: جهاز الكومبيوتر، لوحة المفاتيح، الفأرة، الدبّاسة، الهاتف الخلوي وإلى ما هنالك. ويُسهم البلاستيك أيضًا في جعل السيارات الموفّرة لاستهلاك الوقود خفيفة الوزن، لكونه يمثّل نصف الحجم الإجمالي للسيارة و10 % فقط من وزنها.

هناك الزجاج أيضًا، في النوافذ، الأواني والقوارير، أدوات العزل، السيارات، وكابلات الألياف الضوئية التي توفّر الاتصال السريع بالإنترنت. أما الألومنيوم، فمتوافر في علب الصودا، ورق الألومنيوم، خطوط الطاقة، مقابض الأبواب، القطارات، الطائرات وبراميل الجعة. في حين تُسهم الأسمدة في توفير الأطعمة الغذائية للعالم. لسنوات خلت، تكهّنتُ بزوال التعامل بالورق مع شيوع التواصل بالطرق الإلكترونية وانتشار استعمال الشاشات، من دون أن تظهر أيّ إشارات تدل على إمكانية اختفائها في أيّ وقت قريب.

باختصار، تحتلّ المواد التي نصنّعها مكانة هامّة في الحياة العصرية شأنها في ذلك شأن الكهرباء؛ وفي حين أننا سنواجه صعوبة في التخلّي عنها، من المحتمل أن نستخدم مزيدًا منها في ظل نمو السكان في العالم وازدياد ثرائهم.

تكثر البيانات الداعمة للادعاء القائل إنّ إنتاج الفولاذ سيتضاعف مثلًا بمعدل 50 مرّة في منتصف القرن، ولكن أظن أنّ الصورتين أدناه مقنعتان بشكل كافٍ.





تظهر هاتان الصورتان سِمات النمو - في السرّاء والضرّاء. شنغهاي 1987 (إلى اليمين) و2013 (إلى اليسار)

أنظر إليهما. هل ترى مدينتين مختلفتين؟ هذا غير صحيح. فالصورتان تعودان لمدينة شنغهاي، ومأخوذتان من الموقع نفسه. تعود الصورة الأولى إلى اليمين إلى العام 1987، في حين التُقطت الصورة الثانية إلى اليسار في العام 2013. عندما أنظر إلى تلك المباني الجديدة في الصورة الثانية، أرى أطنانًا وأطنانًا من الفولاذ، والإسمنت، والزجاج والبلاستيك.

صحيح أنّ النمو العالمي لا يتّسم بهذا الطابع المثير الذي نراه في شنغهاي، إلَّا أنّ القصة نفسها تتكرّر في كافة أرجاء العالم، تأكيدًا لفكرة رئيسة تتردّد مرارًا وتكرارًا في هذ الكتاب، وهي أنّ النمو دليل خير. فالنمو السريع الذي نلاحظه في الصورتين إنما يدلّ على تحسّن حياة الأشخاص من نواحٍ لا تحصى: فهم يكسبون مزيدًا من المال، ويحصلون على مستوى تعليم أفضل، كما أصبحوا أقل عرضة للموت في سن صغيرة. ما يعني أنّ كلّ شخص يولي مسألة مكافحة الفقر أهمية كبرى، سيُعتبر ذلك خبرًا سارًا.

ولكن في إطار التأكيد على فكرة رئيسة أخرى تتردّد كثيرًا في هذا الكتاب، وهي أنّ *للسحابة الفضية جانبًا مظلمًا*، يتسبّب إنتاج هذه المواد في انبعاث كميات كبيرة من غازات الاحتباس الحراري، بحيث أنها مسؤولة عن حوالى ثلث الانبعاثات في العالم، ويتعذّر علينا في بعض الحالات، خاصة في ما يتعلّق بإنتاج الخرسانة، إيجاد سُبُل عملية لتصنيعها من دون انبعاثات كربونية.

سنرى سويًا ما إذا كان من الممكن تحويل الدائرة إلى مربع، أو بمعنى آخر ما إذا كان من الممكن تصنيع هذه المواد من دون أن نجعل المناخ غير صالح للعيش. وعلى سبيل الإيجاز، سنركّز على ثلاث مواد أساسية، وهي الفولاذ والخرسانة والبلاستيك. وعلى غرار ما فعلنا في مسألة الكهرباء، سوف نستعرض معًا الدرب التي قطعناها وصولًا إلى ما نحن عليه، والأسباب التي تجعل من هذه المواد معضلة بالنسبة إلى المناخ. وسوف نحسب بعدها العلاوات الخضراء لخفض الانبعاثات عبر استخدام التقنيات الحديثة، ونبحث في سبل خفض العلاوات الخضراء وإجراء كلّ ذلك من دون انبعاثات كربونية.

يعود تاريخ الفولاذ إلى 4,000 سنة، حيث أنّ سلسلة الابتكارات المذهلة التي ظهرت على مرّ القرون الماضية تراوح ما بين العصر الحديدي، وصولًا إلى الفولاذ البخس الثمن، المتعدّد الاستعمالات في عصرنا الحالي. ولكن بحسب خبرتي، يفضّل كثير من الأشخاص معرفة القليل عن الاختلافات بين الفرن اللافح وفرن التسويط وطريقة بسمر. لذا، سنكتفي بالحديث عن الأمور الأساسية التالية:

يلقى الفولاذ رواجًا كبيرًا بفضل صلابته وسهولة تشكيله على درجات حرارة مرتفعة. لتصنيع الفولاذ، نحتاج إلى الحديد الصافي والكربون؛ فالحديد بمفرده لا يوفّر الصلابة اللازمة، لذا، تضاف إليه كمية معينة من الكربون، لا

تجاوز 1 %، بحسب نوع الفولاذ الذي نرغب في الحصول عليه، بحيث تستكين ذرّات الكربون بين ذرّات الحديد، لتضفي على الفولاذ الناتج خصائصه المهمّة.

يتوافر الكربون والحديد بسهولة، بحيث يمكن الحصول على الكربون من الفحم في حين أنّ الحديد هو العنصر الأكثر شيوعًا في قشرة الأرض. أما الحديد الصافي، فنادر بعض الشيء: عند التنقيب عن المعدن، يكون في أغلب الأحيان ممزوجًا بالأكسجين وعناصر أخرى، وهو مزيجٌ يُعرف بخام الحديد.

لتصنيع الفولاذ، يُفصل الأكسجين عن الحديد وتُضاف كمية صغيرة من الكربون. يمكن تحقيق ذلك أيضًا في آن معًا عبر إذابة خام الحديد على درجة حرارة عالية جدًا (1,700 درجة مئوية أو ما يزيد عن 3,000 درجة على مقياس فهرنهايت)، من دون فصل الأكسجين ومع إضافة نوع من الفحم يُعرف بفحم الكوك. يطلق خام الحديد على درجات الحرارة العالية، الأكسجين، فيما يُطلق فحم الكوك الكربون. يرتبط قليل من الكربون المنبعث مع الحديد ليشكّلا معًا الفولاذ الذي نحتاج إليه، فيما تعلق الكمية المتبقّية من الكربون في الأكسجين ليشكّلا معًا منتجًا ثانويًا لا نحتاج إليه: إنه ثاني أكسيد الكربون. واللافت هو أنّ كمية ثاني أكسيد الكربون التي نحصل عليها ليست بقليلة؛ إذ ينبعث عن تصنيع طن من الفولاذ حوالى 1.8 طن من ثاني أكسيد الكربون.

لماذا نعتمد هذه الطريقة في تصنيعه؟ لأنها ميسورة التكلفة، ولم تكن تتوافر لدينا أيّ حوافز لتصنيعه بطريقة مختلفة إلى أن بدأ التغيُّر المناخي يثير قلقنا. من السهل جدًا (وبالتالي قليل الكلفة) التنقيب بحثًا عن خام الحديد؛ كما التنقيب عن الفحم قليل الكلفة أيضًا لأنه متوافر بكثرة في باطن الأرض.

سيواصل بالتالي العالم تقدّمه المضطرد على مستوى تصنيع الفولاذ، على الرغم من أنّ الولايات المتحدة تشهد نوعًا من الاستقرار النسبي في

مستوى الإنتاج، بحيث أنّ دولًا أخرى عدّة، ومنها الصين والهند واليابان، تُنتج كميات من الفولاذ الخام تفوق تلك التي تنتجها الولايات المتحدة؛ وبحلول العام 2050، سيبلغ حجم الإنتاج السنوي في العالم 2.8 مليار طن. ما سوف يتسبّب في زيادة كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة سنويًا بفعل تصنيع الفولاذ، بمعدل 5 أطنان في منتصف القرن، إلّا في حال تمكّنا من إيجاد طريقة جديدة لتصنيعه مع مراعاة الظروف البيئية.

على الرغم من التحدّيات التي ينطوي عليها ذلك، تعتبر صناعة الخرسانة أكثر صعوبة (آسف - لا أقصد التورية)، لأنّ تصنيعها يتطلّب مزج الحصى مع التراب والماء والإسمنت. صحيح أنّ العناصر الثلاثة الأولى متوافرة بيُسر، إلّا أن الإسمنت يثير مشكلة على مستوى المناخ.

لا يمكن تصنيع الإسمنت من دون توافر عنصر الكلسيوم الذي يمكن الحصول عليه من الحجر الجيري، المكوّن من الكلسيوم والكربون والأكسجين، بعد حرقه في الفرن مع مزيج من المواد الأخرى.

وفي ظلّ وجود الكربون والأكسجين، من السهل التنبؤ بما سيؤول إليه الأمر. فبعد إحراق الحجر الجيري، سنحصل على عنصر الكلسيوم اللازم لتصنيع الإسمنت، فضلًا عن عنصر لا نحتاج إليه وهو ثاني أكسيد الكربون. لم يتمكّن أحد بعد من التوصّل إلى طريقة أخرى لصناعة الإسمنت من دون المرور بهذه العملية. إنه تفاعل كيميائي بامتياز: *فالحجر الجيري + درجات الحرارة المرتفعة= أكسيد الكلسيوم + ثاني أكسيد الكربون*، ولا تتوافر أيّ طريقة لتفادي ذلك. إنها علاقة واحد إلى واحد: يكفي أن تنتج طنًا من الإسمنت لتحصل على طن من ثاني أكسيد الكربون.

ما من سبب يدعو للظن بأننا سنتوقّف عن تصنيع الإسمنت تمامًا كما هي الحال بالنسبة إلى الفولاذ. تعتبر الصين المنتج الأكبر في العالم، بحيث تتفوّق على الهند التي تحتلّ المرتبة الثانية بعامل سبعة، وتضاهي كمية الإسمنت التي تنتجها الكمية التي تنتجها دول العالم مجتمعة. ومن المتوقّع أن يزيد معدل الإنتاج السنوي للإسمنت ما بين عامنا الحالي والعام 2050 قليلًا جدًا، لاسيّما وأنّ طفرة البناء تتراجع قليلًا في الصين وتزدهر بعض الشيء في البلدان النامية، وذلك قبل أن يستقرّ على ما يقرب من 4 مليار طن في السنة، أيّ ما يوازي المعدل السنوي الحالي تقريبًا.

يعتبر البلاستيك، مقارنة بالفولاذ والإسمنت، الطفل المدلّل في المجموعة. على الرغم من أنّ الإنسان بدأ باستعمال المواد البلاستيكية الطبيعية كالمطّاط، منذ آلاف السنين، ظهر البلاستيك الصناعي في الخمسينيات من القرن العشرين بفضل الاختراقات المحقَّقة على مستوى الهندسة الكيميائية. يتوافر حاليًا أكثر من 20 نوعًا من البلاستيك، تراوح بين الأنواع التي نتوقّعها، كالبولي بروبيلين المستخدم في الأوعية الحافظة للزبادي، والاستخدامات الأكثر غرابة كالأكريلك في الطلاء، والمستحضرات الملمِّعة للأرضية، أو منظّفات الغسيل، أو الميكروبلاستيك في الصابون والشامبو، أو النايلون في السترات الواقية للماء، أو البوليستر في كافة الملابس البالية التي كنت أرتديها في السبعينيات من القرن العشرين.

تتميّز هذه الأنواع المختلفة من البلاستيك بعامل واحد مشترك: جميعها يحتوي على الكربون. إذ تبيّن أنّ الكربون مفيد في تصنيع المواد المختلفة بسبب سهولة التصاقه بمجموعة واسعة من العناصر المختلفة، بحيث أنه قابل، على مستوى تصنيع البلاستيك، للتكتّل بسهولة مع الهيدروجين والأكسجين.

بعد قراءة ما ورد آنفًا، لا أظن أنك ستندهش لدى معرفتك من أين تستحصل الشركات المصنِّعة للبلاستيك على الكربون. غالبًا من تكرير النفط، أو الفحم أو الغاز الطبيعي، لتعود وتُعالِج بعدها المنتجات المكرَّرة بطرق مختلفة. وهذا ما يبرر السمعة التي ترافق البلاستيك على أنه منتج زهيد الثمن، شأنه شأن الإسمنت والفولاذ، ومردّ ذلك إلى تدنّي كلفة الوقود الأحفوري.

غير أنّ البلاستيك يختلف عن الإسمنت والفولاذ من ناحية شديدة الأهمية: فعند تصنيع الإسمنت أو الفولاذ، ينبعث ثاني أكسيد الكربون باعتباره المنتج الثانوي الذي لا مفرّ منه، ولكن عند تصنيع البلاستيك، تبقى نصف كمية الكربون في البلاستيك. (تختلف النسبة الفعلية بعض الشيء، وفق نوع البلاستيك المقصود، ولكن النصف هو التقدير التقريبي المنطقي). يميل الكربون إلى الالتصاق بالأكسجين والهيدروجين، آبيًا إفلاتهما. ما يعني أنّ البلاستيك غير قابل للتحلّل لمئات السنين.

إنها مشكلة بيئيّة على درجة عالية من الأهمية، لأنّ البلاستيك الذي يُرمى في مكبّ النفايات والمحيطات يبقى على حاله لمدة قرن أو أكثر. تعتبر هذه المشكلة البيئية من المشكلات التي تستدعي المعالجة: فقطع البلاستيك العائمة في المحيطات تتسبّب بمشكلات كثيرة منها تسمُّم الحياة البحرية، مع العلم أنها لا تُسهم في تفاقم مسألة التغيُّر المناخي، لأنّ الكربون الموجود في البلاستيك لا يزيد من حجم الانبعاثات. فالبلاستيك يحتاج إلى وقت طويل جدًا ليتحلّل، وذرّات الكربون المتداخلة فيه ليست من الذرّات التي تنبعث في الغلاف الجوي وتُسهم في ارتفاع درجات الحرارة، أو أقلّه ليس قبل مرور وقت طويل جدًا.

أود التوقّف هنا قليلًا للتشديد على أنّ هذا الاستطلاع السريع لا يتطرّق إلَّا إلى ثلاث من أهمّ المواد التي تُنتَج حاليًا، بحيث أنني استثنيت الأسمدة، الزجاج، الورق، الألومنيوم ومواد أخرى كثيرة. ولكنّ النقطة الأساسية تبقى على حالها: إننا ننتج كميات هائلة من المواد، التي تتسبّب بانبعاث كمّية وافرة من غازات الاحتباس الحراري، توازي ثلث الـ 52 مليار طن في السنة. علينا أن نبلغ نقطة الصفر في ما يتعلّق بهذه الانبعاثات، ولكن من دون التوقّف عن صناعة الأشياء. سأتطرّق في الجزء المتبقّي من هذا الفصل إلى البدائل، والعلاوات الخضراء المرتفعة، ومن ثمَّ سنبحث معًا في إمكانية خفض العلاوات من خلال التقنيات الحديثة لتمكين الجميع من التكيّف مع مقاربة الانبعاثات الصفرية.

لتقييم العلاوات الخضراء المرتبطة بالمواد، علينا أن نحدّد مصدر الانبعاثات عند صناعة الأشياء. يمكن التحدّث في هذا السياق عن ثلاث مراحل: تنبعث غازات الاحتباس الحراري (1) عند استخدام الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة الكهربائية التي تحتاج المصانع إليها لإدارة عملياتها؛ (2) عند استخدامها لتوليد الحرارة التي نحتاج إليها في عمليات التصنيع المختلفة، كإذابة خام الحديد لإنتاج الفولاذ؛ (3) عند إنتاج تلك المواد، بحيث أنّ تصنيع الإسمنت يتسبّب لا محالة بانبعاث ثاني أكسيد الكربون. فلنأخذ كلّ مادة على حدة ونرى معًا كيف تُسهم في العلاوات الخضراء.

بالنسبة إلى المرحلة الأولى، تحدّثنا عن الكهرباء والتحدّيات التي تطرحها في الفصل الرابع. فتكلفة الكهرباء النظيفة، إذا ما شملنا تكلفة التخزين والنقل، بالإضافة إلى حاجة كثير من المصانع إلى الطاقة الكهربائية الموثوقة على مدار الساعة، ترتفع بشكل سريع بالنسبة إلى معظم الدول مقارنة بالولايات المتحدة أو الدول الأوروبية.

وتطرّقنا في المرحلة الثانية إلى كيفية توليد الحرارة من دون حرق الوقود الأحفوري. في حال لم تكن الحاجة تدعو إلى حرارة مرتفعة جدًا، يمكن استعمال مضخّات الحرارة الكهربائية وغيرها من التقنيات الحديثة، ولكن في حال دعت الحاجة إلى آلاف الدرجات من الحرارة، لا يمكن اعتبار الكهرباء من الخيارات الاقتصادية، خاصة في ظلّ التقنيات المتوافرة حاليًا. علينا اللجوء إما إلى الطاقة النووية أو حرق الوقود الأحفوري والتقاط الانبعاثات بوساطة الأجهزة الخاصة بالتقاط الكربون. غير أنّ تقنية التقاط الكربون ليست، وبكل أسف، مجانية. فهي تُضاعِف تكلفة المصنّع الذي يُضاعِف بدوره السعر على المستهلك.

وصلنا أخيرًا إلى المرحلة الثالثة: ماذا بوسعنا أن نفعل حيال العمليات التي تؤدّي من حيث طبيعتها إلى انبعاث غازات الاحتباس الحراري؟ لا تنسى أنّ صناعة الفولاذ والإسمنت تتسبّب بانبعاث ثاني أكسيد الكربون، ليس بسبب حرق الوقود الأحفوري فحسب، بل أيضًا بنتيجة التفاعلات الكيميائية التي تُعدّ ضرورية لتمكين إنتاجها.

الإجابة في الوقت الحالي واضحة وصريحة: لا يسعنا أن نفعل أيّ شيء لاجتناب هذه الانبعاثات، خاصة وأنه لا يمكن إقفال هذه القطاعات الإنتاجية. في حال اخترنا أن نقضي عليها كلها باستعمال التقنيات المتوافرة اليوم، ستكون الخيارات محدودة جدًا، تمامًا كما أنها محدودة في المرحلة الثانية. علينا استعمال الوقود الأحفوري ووسائل التقاط الكربون التي من شأنها أن تضاعف الكلفة.

بعد أن استعرضنا هذه المراحل الثلاث، فلنلقي معًا نظرة على حجم العلاوات الخضراء المترتّبة عن استخدام وسائل التقاط الكربون لتصنيع

البلاستيك، والفولاذ والإسمنت النظيف:

العلاوات الخضراء للبلاستيك، والفولاذ والإسمنت

المادة	السعر الوسطي لكل طن	كمية الكربون المنبعثة لكل طن من المواد المُنتَجة	السعر بعد تطبيق عملية التقاط الكربون	حجم العلاوة الخضراء
الإيثيلين (بلاستيك)	$ 1,000	1.3 طن	$1,155 - $1,087	%15 - %9
فولاذ	$ 750	1.8 طن	$964 - $871	%29 - %16
إسمنت	$ 125	1 طن	$300 - $219	%140 - %75

بصرف النظر عن الإسمنت، يمكن القول إنّ العلاوات ليست مرتفعة جدًا، بحيث أنّ المستهلك قد لا يشعر في بعض الحالات بأي زيادة على الإطلاق. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تتضمّن سيارة ثمنها 30 ألف دولار أميركي طنًا من الفولاذ؛ ولن تحدث تكلفة الفولاذ، سواء كانت 750 دولارًا أميركيًا أو 950، فرقًا كبيرًا على مستوى السعر الإجمالي للسيارة. والأمر سيّان بالنسبة إلى عبوة الكوكا كولا التي اشتريتها منذ بضعة أيام من ماكينة البيع الآلية بدولارين فقط؛ إذ لا يمثّل البلاستيك سوى حصة صغيرة جدًا من السعر الإجمالي.

غير أنّ التكلفة النهائية للمستهلك ليست العامل الوحيد المهم. فلنفترض مثلًا أنك مهندس تعمل في مدينة سياتل، وتستعرض مجموعة من المناقصات لترميم أحد الجسور الكثيرة. بحسب واحدة من المناقصات، تبلغ تكلفة كلّ طن من الإسمنت 125 دولارًا أميركيًا، في حين تصل هذه التكلفة بحسب مناقصة أخرى إلى 250 دولارًا أميركيًا، بعد إضافة تكلفة التقاط الكربون. أيّ من المناقصتين ستختار؟ ستختار حتمًا المناقصة الأقل تكلفة في ظلّ انعدام أيّ حوافز لاختيار الإسمنت الخالي من الكربون.

ولنفترض مثلًا أنك تدير شركة لتصنيع السيارات، هل تقبل بإنفاق 25 % على كمية الفولاذ الإجمالية التي تشتريها؟ من المحتمل ألَّا تفعل خاصة إذا ما قرّر منافسوك التمسّك بالمواد الأرخص ثمنًا. فأيّ ارتفاع وإن ضئيلٍ في السعر الإجمالي للسيارة سوف يسبّب لك القلق، لأنك لن تشعر بالرضا لارتفاع ثمن إحدى السلع الأساسية بالنسبة إليك بمعدل الربع، خاصة وأنّ الهوامش التي وضعتها ضئيلة جدًا. إذ يمكن أن تشكّل العلاوة بنسبة 25 %، في الصناعات ذات الهامش الربحي الضيق، الفرق بين الاستمرار في ممارسة العمل التجاري أو الإفلاس.

على الرغم من أنّ عددًا بسيطًا جدًا من المصنّعين في بعض القطاعات الصناعية المحدّدة قد يوافق على تحمّل تكلفة إسهامهم في مكافحة التغيُّر المناخي، لن نتمكّن في ظلّ هذه الأسعار من تحقيق التغيير الذي نسعى إليه على مستوى المنظومة لبلوغ نقطة الصفر. كما لا يمكن لنا الاعتماد على المستهلكين لخفض الأسعار عبر زيادة الطلب على المنتجات الخضراء. إذ لا يشتري المستهلك، في مطلق الأحوال، الإسمنت أو الفولاذ، بل إنها الشركات الكبرى.

تتوافر طرق مختلفة لخفض العلاوات، ومنها استخدام السياسات العامة لتعزيز الطلب على المنتجات النظيفة، عبر وضع حوافز أو شروط مثلًا لشراء الإسمنت أو الفولاذ الخالي من الكربون. فالأعمال التجارية تميل عادة إلى دفع العلاوات للحصول على مواد نظيفة، إذا نصّ القانون على ذلك، وزاد طلب المستهلكين عليها، واتّخذ المنافسون خطوات مماثلة. سأتطرّق بشكل مفصّل إلى هذه الحوافز في الفصلين 10 و11.

غير أننا في حاجة وبشكل أساسي إلى الابتكار في عملية التصنيع، لإيجاد الطرق الملائمة لصنع الأشياء من دون انبعاثات كربونية. فلنلقي معًا نظرة على بعض الفرص المتاحة.

من بين كلّ المواد التي ذكرتها في هذا الفصل، يعتبر الإسمنت الحالة الأكثر صعوبة. فالالتفاف على المعادلة البسيطة: حجر جيري + حرارة = أكسيد الكلسيوم + ثاني أكسيد الكربون صعب جدًا، على الرغم من أنّ عددًا من الشركات طرحت بعض الأفكار الجيدة.

تتمثّل إحدى المقاربات في إعادة تدوير ثاني أكسيد الكربون، الذي تمّ التقاطه خلال عملية إنتاج الإسمنت، وإعادة حقنه في الإسمنت قبل استخدامه في مواقع البناء. تمكّنت الشركة التي طرحت هذه الفكرة من جذب عدد كبير من الزبائن، بمن فيهم مايكروسوفت وماك دونالدز، بحيث نجحت لغاية تاريخه في خفض الانبعاثات بحوالى 10 % وهي تأمل أن ترتفع هذه النسبة إلى 33 % في نهاية المطاف. تشمل إحدى المقاربات النظرية الأخرى تصنيع الكربون من مياه البحار والكربون الذي يتم التقاطه من محطات توليد الطاقة. يعتقد أصحاب هذه الفكرة أنها ستتمكن في النهاية من خفض الانبعاثات بنسبة تجاوز 70 %.

غير أنّ نجاح هذه المقاربات لا يعني أنها قابلة لإنتاج إسمنت خالٍ تمامًا من الكربون. إذ علينا في المستقبل المنظور، الاعتماد على تقنية التقاط الكربون، في حال ثَبُت بأنها عملية، وتوجيه الهواء الملتقط لأسر الكربون المنبعث في أثناء تصنيع الإسمنت.

في ما يتعلّق بمعظم المواد الأخرى، نحتاج أولًا إلى كمية كافية من الكهرباء النظيفة والموثوقة. تُمثّل الكهرباء حوالى ربع إجمالي الطاقة المستخدمة من القطاع الصناعي حول العالم؛ ففي سبيل تزويد هذه العمليات الصناعية كافة، نحتاج إلى نشر تقنية الطاقة النظيفة المتوافرة حاليًا وتطوير إنجازات من شأنها أن تُسهم في توليد وتخزين كمية كبيرة من الكهرباء الخالية من الكربون بتكلفة قليلة.

وسنحتاج قريبًا جدًا إلى كمية أكبر من الطاقة في سعينا لتطوير طريقة أخرى لخفض الانبعاثات: إنها تقنية الكهربة القائمة على استخدام الكهرباء بدلًا من الوقود الأحفوري في بعض العمليات الصناعية. ترتكز مثلًا إحدى المقاربات المميّزة لصناعة الفولاذ على استخدام الطاقة النظيفة بدلًا من الفحم. فقد طوّرت إحدى الشركات التي أتابع أنشطتها عن كثب، عملية جديدة تُعرف بالتحليل الكهربائي للأكسيد المصهور: عوضًا عن حرق الحديد في الفرن مع فحم الكوك، تُمرَّر الكهرباء عبر خلية تحتوي على مزيج من أكسيد الحديد السائل ومكوّنات أخرى. تتسبّب الكهرباء في تفكّك أكسيد الحديد تاركًا الحديد الصافي الذي نحتاج إليه لصناعة الفولاذ، فضلًا عن الأكسجين الصافي باعتباره المنتج الثانوي، من دون أيّ انبعاثات لثاني أكسيد الكربون. تُعتبر هذه التقنية واعدة، ومشابهة لعملية نستخدمها منذ أكثر من قرن لتنقية الألومنيوم. ولكن على غرار كافة الأفكار الأخرى المعنية بالفولاذ النظيف، لم يتم التثبّت بعد من جدواها على النطاق الصناعي.

يمكن للكهرباء النظيفة الإسهام في حلّ مشكلة أخرى أيضًا، مشكلة صناعة البلاستيك. وفي حال تمكّنا من جمع كافة القطع معًا، سيتحوّل

البلاستيك يومًا ما إلى بالوعة للكربون، أو إلى تقنية للتخلّص من الكربون بدلًا من التسبّب في انبعاثاته.

إليكم الطريقة. نحتاج أولًا إلى تقنية خالية من الكربون لإجراء عملية التكرير من دون أيّ انبعاثات كربونية. يمكننا استعمال الكهرباء النظيفة أو الهيدروجين الناتج عن الكهرباء النظيفة. وعلينا بعدها أن نجد طريقة مناسبة للحصول على الكربون اللازم لتصنيع البلاستيك من دون حرق الفحم. تتمثّل إحدى الأفكار المطروحة في إزالة ثاني أكسيد الكربون من الهواء واستخراج الكربون، ولكنها عملية عالية التكلفة. لذا، يمكن اعتماد المقاربة الأخرى التي تعمل شركات مختلفة على تطويرها وهي استخراج الكربون من النباتات. نحتاج أخيرًا إلى مصدر للحرارة خال من الكربون، وبوسعنا أن نستخدم لهذا الغرض الكهرباء النظيفة، الهيدروجين، أو الغاز الطبيعي المزوّد بجهاز لالتقاط الكربون المنبعث منه.

في حال اجتمعت هذه القطع كلها معًا، يمكننا تصنيع البلاستيك بانبعاثات سلبية صافية. لقد تمكّنا في الواقع من إيجاد طريقة لسحب الكربون من الهواء (بوساطة النباتات أو سوى ذلك) وتخزينه في قوارير أو منتجات بلاستيكية أخرى، حيث سيبقى لعدّة عقود أو قرون من دون أيّ انبعاثات إضافية. إنها طريقة مثالية لتخزين كمية من الكربون تفوق تلك التي نتسبّب بانبعاثها.

في ما عدا البحث عن طرق مختلفة لصناعة المواد من دون أيّ انبعاثات، بوسعنا وبكل بساطة التخفيف من كميات المواد المستهلكة. فإعادة تدوير الفولاذ، الإسمنت والبلاستيك لا تكفي وحدها للتخلّص من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، ولكن يمكن أن تفي بالغرض. بوسعنا إعادة تدوير

مزيد من المواد واستكشاف سبل جديدة لخفض كمية الطاقة المطلوبة لإعادة تدوير المواد. وعلينا أيضًا البحث عن سُبُل لبناء وصناعة الأشياء مستخدمين التي يعاد استخدامها، خاصة وأنّ إعادة استعمال الأشياء لا يتطلّب كمية من الطاقة تفوق تلك التي نحتاج إليها في إعادة التدوير. وفي الختام، يمكن أيضًا تصميم المباني والطرق بهدف الحدّ من استخدام الإسمنت والفولاذ، وفي بعض الحالات الخشب الرقائقي المتقاطع، المصنوع من طبقات من الخشب المتلاصقة ضمن حزمة متراصّة، والذي يتميّز بصلابته التي تخوّله أن يحلّ محلّ المادتين.

وخلاصة القول، يبدو المسار المؤدّي إلى التخلّص من الانبعاثات بصورة نهائية في القطاع الصناعي على هذا النحو:

1. كهربة كلّ العمليات الممكنة. يحتاج ذلك إلى كثير من الابتكار.

2. التزوّد بالكهرباء من شبكة كهرباء أُزيل الكربون منها. يحتاج هذا الأمر أيضًا إلى كثير من الابتكار.

3. استخدام الأجهزة اللاقطة للكربون لامتصاص الانبعاثات المتبقّية. وهذه التقنية كذلك الأمر.

4. استخدام المواد بكفاءة أكبر. سيّان.

عليك أن تتعوّد هذه الفكرة الأساسية لأنها ستتردّد كثيرًا في الفصول اللاحقة. سنتحدّث في الفصل التالي عن الزراعة وتربية الماشية، ونلقي الضوء على أحد أبرز أبطال القرن العشرين المغمورين فضلًا عن المزارع المليئة بالأبقار الكثيرة التجشؤ.

الفصل السادس

الزراعة وتربية الماشية

22 % من 52 مليار طن سنويًا

الولع بالتشيزبرغر متوارث في عائلتنا. فعندما كنت صغيرًا، كنت أهوى ممارسة رياضة المشي لمسافات طويلة مع مجموعة الكشافة للفتيان، وكانوا جميعهم يحبّون العودة إلى المنزل برفقة والدي لأنه كان يحرص دومًا على التوقّف لشراء البرغر للجميع. وبعد مرور سنوات طويلة، كنت أتردّد باستمرار، في بدايات شركة مايكروسوفت، على مطعم برغر ماستر، وهو أحد أقدم سلسلة مطاعم البرغر في منطقة سياتل، لتناول الغداء أو العشاء أو لالتهام وجبة في ساعة متأخّرة من الليل.

وبعد أن أخذت شركة مايكروسوفت بالازدهار، اتخذ والدي من مطعم برغر ماستر المجاور لمنزله مكتبًا غير رسمي له، وذلك قبل أن أُنشىء وميليندا مؤسستنا. فقد كان يقصد المطعم ليتناول طعامه وهو يدقّق في الطلبات التي كانت ترد إلينا من أشخاص كثر مطالبين بالتبرّعات والهِبات.

وبعد فترة وجيزة، انتشر الخبر، وبدأ والدي بتلقّي رسائل موجهة إليه بهذا الشكل: «بيل غيتس الأب، في رعاية برغر ماستر».

مضى وقت طويل على تلك الأيام. فمنذ حوالى عقدين، قايض والدي طاولته في برغر ماستر بمكتب في مؤسستنا. ومع أنني ما أزال أحب التشيزبرغر، إلَّا أنني لم أعد أتناولها بكثرة، خاصة بعد أن أدركتُ مدى تأثير اللحم البقري واللحوم الأخرى على التغيُّر المناخي. تعتبر تربية الماشية بهدف توفير الأطعمة الغذائية مساهمًا أساسيًا في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، بحيث تصنّف في أعلى السلّم ضمن القطاع المعروف من الخبراء بقطاع «الزراعة والحراجة والاستخدامات الأخرى للأراضي» الذي يشمل بدوره مجموعة واسعة من الأنشطة البشرية، بدءًا من تربية المواشي وزراعة المحاصيل وصولًا إلى الحصاد. ويشمل هذا القطاع أيضًا مجموعة متنوّعة من غازات الاحتباس الحراري: في ما يخصّ الزراعة، يعتبر الميثان، وليس ثاني أكسيد الكربون، المذنب الأساسي، لكونه مسؤولًا عن احتمال حدوث احترار لكل جزيء بمعدل 28 مرة أكثر من ثاني أكسيد الكربون خلال القرن المنصرم، وأكسيد النيتروجين المسؤول عن الاحترار بمعدل 265 مرة أكثر. تشكّل بالإجمال الانبعاثات السنوية للميثان وأكسيد النيتروجين ما يزيد عن 9 ملايين طن من ثاني أكسيد الكربون، أو حوالى 80 % من كلّ غازات الاحتباس الحراري المنبعثة من قطاع الزراعة، الحراجة والاستعمالات الأخرى للأراضي. ومن المتوقّع أن يشهد هذا الكمّ، في حال عدم المبادرة إلى اتّخاذ أيّ إجراء للحدّ من هذه الانبعاثات، ارتفاعًا ملحوظًا مع ارتفاع كمية الأغذية المزروعة لإطعام السكان في العالم الذين يزدادون نموًا وثراءً. فإذا أردنا بلوغ الصافي الصفري للانبعاثات، علينا أن نجد سُبلًا لزراعة النباتات وتربية المواشي مع

السعي إلى خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري تدريجًا لنتمكّن في نهاية المطاف من التخلّص منها بشكل نهائي.

إنّ الزراعة ليست التحدّي الوحيد الذي نواجهه. إذ علينا أن نتصدّى أيضًا لإزالة الغابات والاستعمالات الأخرى للأراضي، التي تضيف مجتمعة مئات الملايين من الأطنان من ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي كما تدمّر مواطن الأحياء البرية الأساسية. وفي سبيل الاطّلاع على هذا الموضوع البعيد المدى عن كثب، تطرّقتُ في هذا الفصل إلى القليل من كلّ شيء. سأتحدّث في البداية عن أحد الأبطال المفضّلين لدي، وهو مهندس زراعي حائز جائزة نوبل للسلام نجح في إنقاذ أكثر من مليار شخص من الجوع ولكن اسمه غير معروف خارج دوائر التنمية الشاملة. وسأنتقل بعدها للبحث في التفاصيل الدقيقة لزبل الخنازير وتجشؤ الأبقار، وكيمياء الأمونيا، كما سأبحث في أهمية غرس الأشجار وإسهامها في اجتناب كارثة مناخية. ولكن قبل الانتقال إلى تلك الموضوعات، سنبدأ بالتكهّن الشهير الذي اتّضح على مرّ التاريخ بأنه خطأ.

في العام 1968، نشر عالم أحياء أميركي يُدعى پاول أرليش كتابًا تصدّر قائمة الكتب الأكثر مبيعًا، عنوانه «القنبلة السكانية» حيث رسم صورة قاتمة للمستقبل لا تختلف كثيرًا عن الرؤية التشاؤمية التي تمحور حولها بعض الروايات ومنها سلسلة مباريات الجوع (The Hunger Games). فقد كتب أرليش قائلًا: «انتهت معركة البحث عن سبل لإطعام البشرية. ففي السبعينيات والثمانينيات من القرن العشرين سيلقى مئات الملايين من الناس حتفهم من الجوع على الرغم من البرامج المكثّفة التي جرت المباشرة بها»، وأضاف: «لن تتمكّن الهند من إطعام 200 مليون شخص إضافيين بحلول العام 1980».

لم يتحقّق أيّ من الكلام الذي قاله. فبعد ظهور كتاب «القنبلة السكانية»، زاد عدد السكان في الهند بمعدل 800 مليون شخص، بحيث أصبح اليوم عدد السكان ضعف ما كان عليه في العام 1968، كما وتضاعفت نسبة إنتاج الأرز والقمح في الهند بمقدار ثلاثة أضعاف، كما ازدهر الاقتصاد بمُعامِل 50 تقريبًا. وشهد المزارعون في دول عدّة في آسيا وأميركا الجنوبية زيادة في الإنتاجية. بنتيجة ذلك، أصبح الغذاء متوافرًا بكميات أكبر، وليس العكس، على الرغم من النموّ السكاني في العالم، ولم يهلك مئات الملايين من الأشخاص من الجوع في الهند أو في أيّ مكان آخر. ففي الولايات المتحدة، تُنفِق حاليًا الأسرة المتوسّطة على الغذاء أقل مما كانت تفعل من 30 سنة، بحيث أنّ هذا الاتجاه أصبح سائدًا في أجزاء أخرى من العالم.

لا أقول إنّ سوء التغذية لا يعدّ من المشكلات الخطيرة في بعض الأماكن من العالم. فالحق يقال إنّ تحسين التغذية في المناطق الأكثر فقرًا هو إحدى الأولويات الرئيسة بالنسبة إليّ وإلى ميليندا. غير أن تكهّنات أرليش في ما يخصّ المجاعة لم تكن صحيحة.

لماذا؟ ما الذي غفل عنه أرليش وسواه من المتشائمين؟

لم يضع أيٌّ منهم في الحسبان عامل الابتكار، أو الأشخاص أمثال نورمان بورلوغ، عالم النباتات البارع الذي حقّق ثورة فعلية في قطاع الزراعة، ثورة أسهمت في زيادة الإنتاجية في الهند وبلدان أخرى. فقد عمد بورلوغ إلى تطوير أصناف منوّعة من القمح مستخدمًا بذورًا أكبر حجمًا وميزات أخرى تجعلها قادرة على توفير كميات أكبر لكل أكر من الأرض، وهذا ما يُعرف في أوساط المزارعين بزيادة المحاصيل. (تبيّن لبورلوغ أنه عندما تكون البذور أكبر

حجمًا، لا يستطيع القمح تحمّل وزنها، لهذا السبب جعل سيقان القمح أقصر، بحيث عُرفت الأصناف المختلفة التي ابتكرها بالقمح القزمي).

مع انتشار القمح القزمي الذي ابتكره بورلوغ في مختلف أنحاء العالم، زادت المحاصيل في معظم المناطق بمقدار ثلاثة أضعاف خاصة بعد أن حذا المزارعون الآخرون حذو بورلوغ في ما خصّ الذرة والأرز. ما أدّى إلى تراجع نسبة الجوع بفضل بورلوغ الذي ساعد على إنقاذ حياة مليار شخص. في العام 1970، فاز بورلوغ بجائزة نوبل للسلام، وما زلنا نشعر بتأثير الأعمال التي قام بها حتى تاريخه: فمن الناحية العملية، تتحدّر كافة أنواع القمح المزروعة في الأرض من النباتات التي كان يزرعها. (تتمثّل إحدى سيئات هذه الأنواع في كونها تحتاج إلى كميات كبيرة من الأسمدة ليكتمل نموّها بشكل كامل، وسنتطرّق في قسم لاحق إلى التأثيرات السلبية للأسمدة). تعجبني حقيقة أنّ أحد أبرز الأبطال الذين عرفهم التاريخ، يحمل مسمًّى وظيفيًا (مهندس زراعي) لم يسمع به عدد كبير منّا.

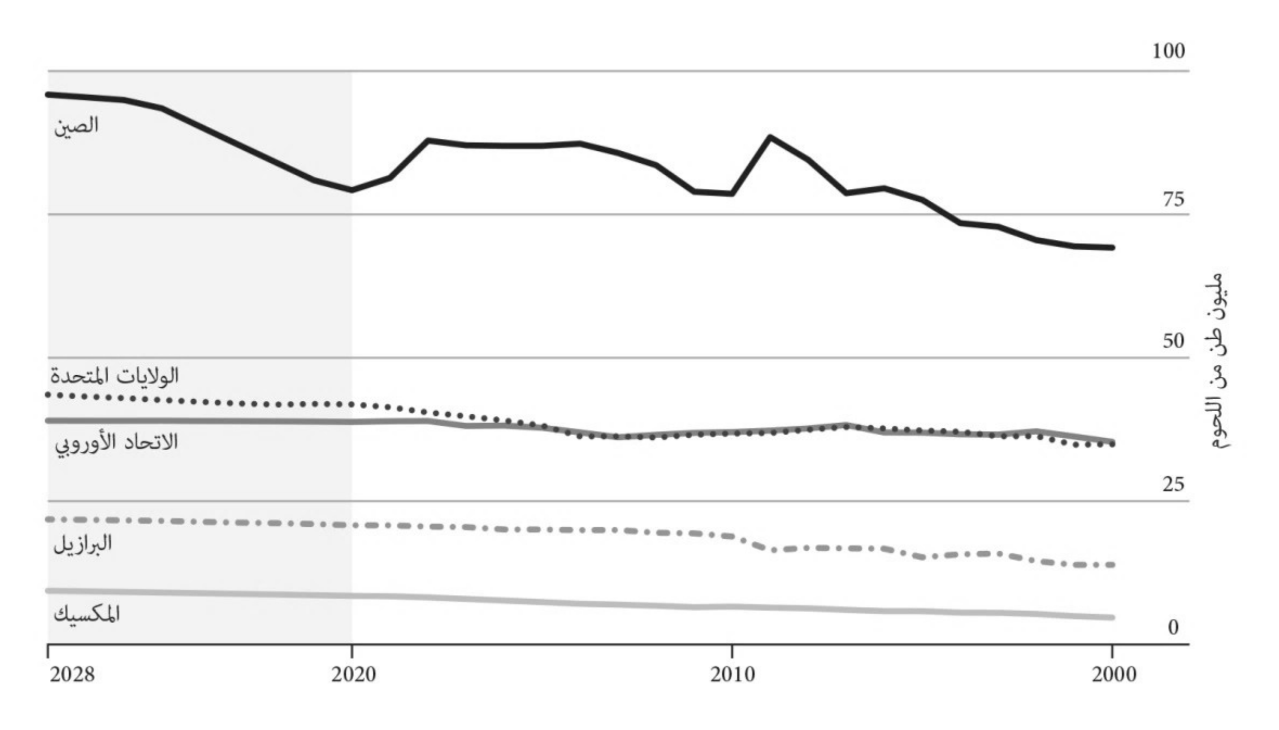
ما هي إذن علاقة نورمان بورلوغ بالتغيُّر المناخي؟

من المتوقَّع أن يبلغ عدد سكان الأرض 10 مليارات نسمة بحلول العام 2100، ما يعني أننا سنحتاج إلى مزيد من الأطعمة الغذائية لإطعام الجميع. وبما أنّ عدد السكان سيرتفع بنسبة 40 % بنهاية القرن، من البديهي الاعتقاد بأننا سنحتاج إلى 40 % إضافية من الأطعمة الغذائية، ولكن ذلك غير صحيح. فالنسبة التي سنكون في حاجة إليها تتخطّى ذلك بكثير.

مردّ ذلك إلى الآتي: عندما يزداد الأغنياء ثراءً، يستهلكون مزيدًا من السعرات الحرارية، بحيث يزيد استهلاكهم للحوم ومنتجات الألبان بشكل خاص. ولكنّ إنتاج اللحوم ومنتجات الألبان يتطلّب زراعة مزيد من الأغذية.

فالدجاجة مثلًا تحتاج إلى سعرتين حرارتين من الحبوب لتتمكّن من توفير سعرة حرارية واحدة من لحم الدجاج، ما يعني أنّ الدجاجة تحتاج إلى ضعف السعرات الحرارية التي توفّرها لك. من جهته، يحتاج الخنزير إلى كمية من السعرات الحرارية أكثر بثلاثة أضعاف من تلك التي نحصل عليها عندما نأكل لحمه. أما الأبقار، فمعدلها هو الأعلى على الإطلاق: ست سعرات حرارية لكل سعرة حرارية من لحم البقر. بعبارة أخرى، يتطلّب توفير مزيد من السعرات الحرارية من مصادر اللحوم زراعة مزيد من النباتات للحصول على اللحوم.

يظهر الرسم البياني التالي الاتجاه الذي يسلكه استهلاك اللحوم في العالم. فالخط مسطّح أساسًا في الولايات المتحدة وأوروبا والبرازيل والمكسيك، ولكنه يرتفع بشكل سريع في الصين وغيرها من الدول النامية.



معظم الدول لا تستهلك كمية لحوم أكبر من تلك التي تعوّدت استهلاكها. تعتبر الصين الاستثناء الوحيد (التوقّعات الزراعية المشتركة بين منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ومنظمة الأغذية والزراعة للعام 2020).

إننا أمام مشكلة محيّرة: فتكثيف إنتاج الأطعمة الغذائية للحصول على كمية أكبر من تلك التي نحتاج إليها حاليًا، سيترك عواقب كارثية على المناخ، خاصة إذا ما استمررنا في اتباع الوسائل المتّبعة اليوم في عملية الإنتاج. ولنفترض أننا لم نتمكّن من إدخال أيّ تحسينات على كمية الأطعمة الغذائية التي نحصل عليها لكل أكر من المراعي أو الأراضي الزراعية، سيؤدّي تكثيف الزراعة إلى توفير الطعام لعشرة مليارات شخص إلى مضاعفة الانبعاثات المتّصلة بالأغذية بمقدار الثلثين.

من الأمور الأخرى التي تثير قلقنا أنّ الدفع الشديد نحو توليد الطاقة من النباتات من شأنه أن يشعل بشكل غير مقصود، شرارة المنافسة على الأراضي الزراعية. سأتحدّث في الفصل السابع عن الوقود الأحيائي المتطوّر المصنوع مثلًا من عشب النجيل القادر على توفير وسائل خالية من الكربون لإشعال الشاحنات، والسفن والطائرات. ولكن إذا زرعنا هذه المحاصيل في أراض مخصّصة لزراعة الأغذية اللازمة لإطعام السكان، سوف نتسبّب بغير قصد في زيادة أسعار الأغذية، وبالتالي زيادة عدد الأشخاص الذين يعانون من الفقر وسوء التغذية، إلى جانب تسريع عملية إزالة الغابات التي تعتبر في غاية الخطورة.

لاجتناب هذه الفِخاخ، سوف نحتاج في السنوات المقبلة إلى مزيد من الاختراقات المماثلة لتلك التي توصّل بورلوغ إليها. وقبل البحث في طبيعة الاختراقات المطلوبة، أودّ أن أشرح مصدر تلك الانبعاثات بالتحديد واستعراض الخيارات المطروحة أمامنا للتخلّص منها عبر التقنيات المتوافرة حاليًا. وعلى غرار ما فعلت في الفصل السابق، سأستخدم العلاوات الخضراء لأبيّن سبب ارتفاع تكلفة عملية التخلّص من غازات الاحتباس الحراري، وأتمكّن بعدها من إثبات مدى حاجتنا إلى ابتكارات جديدة.

ما يقودني إلى تجشؤ الأبقار وزبل الخنازير.

عند النظر داخل معدة الإنسان، سترى تجويفًا واحدًا حيث تُهضم الأطعمة قبل متابعة طريقها باتجاه القناة المعوية. ولكن عند النظر داخل معدة البقرة، سترى أربعة تجويفات تتيح للأبقار التهام العشب والنباتات الأخرى التي لا يستطيع الإنسان هضمها. ومن خلال العملية الهضمية المعروفة بالتخمّر المعوي، تُسهم البكتيريا داخل معدة البقرة في تكسّر وتخمير السليلوز الموجود في النباتات، وبالتالي تكوّن غاز الميثان. غير أنّ البقرة تتجشأ معظم الميثان فيما تخرج الكمية المتبقية من الطرف الآخر على شكل غازات.

(بالمناسبة، عند الدخول في نقاش حول هذا الموضوع، يمكن أن ينتهي بك الأمر إلى سماع أحاديث غريبة. فقد جرت العادة على أن أنشر وميليندا في كلّ سنة كتابًا مفتوحًا عن أعمالنا، وقرّرت أن أكتب في الكتاب الخاص بالعام 2019 عن مشكلة التخمّر المعوي لدى الماشية. وبينما كنا نعدّ مسوّدة الكتاب، دخلت في نقاش ودّي مع ميليندا حول عبارة «إخراج الريح» وعدد المرات التي بإمكاني أن أذكرها فيها. واستقرّ رأي ميليندا على استعمالها مرّة؛ ولكنني المؤلّف الوحيد لهذا الكتاب، ما يعني أنني أملك الحرية المطلقة لأفعل ما يحلو لي. ولهذا السبب، قرّرت أن أستغل هذه الفرصة).

يبلغ عدد المواشي التي يربّيها الناس في مختلف أنحاء العالم من أجل لحومها وألبانها حوالى المليار تقريبًا. غير أنّ الميثان الذي تطلقه سنويًا يُسهم في الاحترار العالمي بنسبة توازي التأثير الذي يخلّفه انبعاث ملياري طن من ثاني أكسيد الكربون، أيّ ما يقرب من أربعة في المئة من الانبعاثات العالمية.

تقتصر مشكلة تجشؤ الغاز الطبيعي وإطلاقه على شكل ريح على الأبقار وسواها من الحيوانات المجترة، كالأغنام والماعز والأيل والجِمال. غير أنّ السبب الآخر لانبعاث غازات الاحتباس الحراري والمشترك بين كلّ الحيوانات، فهو البراز.

عند تحلُّل البراز، يطلق مزيجًا من غازات الاحتباس الحراري، ولاسيّما أكسيد النيتروجين إضافة إلى القليل من الميثان والكبريت والأمونيا. يعتبر زبل الخنازير مسؤولًا عن نصف كمية الانبعاثات المتّصلة بالزبل فيما تنبعث الكمية المتبقية من زبل الأبقار. وبالنظر إلى كثرة البراز الحيواني، يُعدّ ثاني أكبر سبب للانبعاثات في القطاع الزراعي، باعتبار أنّ التخمّر المعوي يحتلّ المرتبة الأولى.

ماذا لنا أن نفعل حيال كلّ هذا البراز والتجشؤ والريح؟ إنه سؤال صعب. حاول الباحثون تجربة شتى أنواع الأفكار للتعامل مع التخمّر المعوي، مستخدمين اللقاحات للتخلّص من الميكروبات المولِّدة للميثان في أمعاء المواشي، ومتّبعين طرقًا طبيعية في تربيتها لخفض نسبة الانبعاثات، ومضيفين أنواعًا معينة من الأدوية أو الأغذية إلى نظامها الغذائي. فشلت معظم الجهود المبذولة في هذا السياق، في ما عدا الاستثناء الوحيد المتمثّل في مركّب عضوي يُعرف بثلاثي نيتروكسي بروبانول، الذي من شأنه خفض انبعاثات الميثان بنسبة 30 %، إلَّا أنه ينبغي إعطاء هذا المركّب للمواشي على الأقل مرة في اليوم، ما يعني أنه غير قابل للتطبيق على مستوى معظم ممارسات الرعي الجائر.

على الرغم من ذلك، ثمة ما يدعو للاعتقاد بأن من الممكن خفض هذه الانبعاثات من دون الحاجة إلى أيّ تقنية جديدة أو علاوة خضراء ضخمة. فقد

تبيّن أنّ كمية الميثان المنبعثة من بقرة معينة تُحدّد بحسب المكان الذي تعيش فيه البقرة؛ فعلى سبيل المثال، تطلق الأبقار في أميركا الجنوبية كمية من غازات الاحتباس الحراري أكبر بخمس مرّات من تلك التي تطلقها الأبقار في أميركا الشمالية، كما تطلق الأبقار في أفريقيا كميات أكبر بعد. فتربية الأبقار في أميركا الشمالية أو أوروبا تعني أنّ السلالات محسّنة وقابلة لتحويل ما تأكله إلى ألبان ولحوم بمزيد من الكفاءة. كما أنها تحظى برعاية طبية أفضل وأغذية عالية الجودة، ما يُسهم في خفض كمية الميثان التي تُنتجها.

إذا تمكّنا من نشر السلالات المحسَّنة والممارسات الفضلى على نطاق أوسع، خاصة تهجين الأبقار الأفريقية لتصبح أكثر إنتاجية، وتوفير كمية أكبر من الأغذية بتكلفة ميسورة، سيؤدّي ذلك إلى خفض الانبعاثات ومساعدة المزارعين الفقراء على كسب مزيد من النقود. ينطبق الأمر نفسه على عملية معالجة الزبل؛ فالمزارعون في العالم الغني يستطيعون الوصول إلى تقنية مختلفة للتخلّص من الزبل من دون التسبّب بكميات كبيرة من الانبعاثات. لذا، من المهم أن تصبح هذه التقنيات ميسورة التكلفة ليتمكّن المزارعون الفقراء من الحصول عليها، ما يعزّز احتمال خفض كمية الانبعاثات.

قد يطرح نباتي متطرّف حلًا آخر: *بدلًا من السعي لإيجاد السبل الأنسب لخفض الانبعاثات، من الأفضل التوقّف عن تربية المواشي*. أعترف بأنّ كلامه لا يخلو من الإغراء، ولكنه غير واقعي. فاللحوم تقوم بدور مهم في ثقافة الإنسان، بحيث أنها تشكل في مناطق عدّة من العالم جزءًا أساسيًا من المهرجانات والاحتفالات، حتى وإن كانت شحيحة في بعض الأماكن. وفي فرنسا، تعتبر الوجبة المخصّصة لتذوّق الطعام، بما في ذلك المقبّلات، اللحوم أو الأسماك، والجبن، والتحلية، جزءًا من قائمة التراث الثقافي غير المادي

للإنسانية في البلاد. وبالاستناد إلى ما هو مدوّن في موقع اليونيسكو، «تشدّد الوجبة المخصّصة لتذوّق الطعام على المشاركة والتآزر، متعة التذوّق، والتوازن بين الإنسان ومنتجات الطبيعة».

غير أننا لا نستطيع التوقّف عن تناول اللحوم مع الاستمرار بالاستمتاع بمذاقها. تعتبر منتجات اللحوم النباتية، التي هي عبارة عن منتجات نباتية خضعت للمعالجة بطرق مختلفة لتحاكي مذاق اللحوم، إحدى الخيارات المطروحة. من جهتي، أعتبر نفسي متحيّزًا في هذا الموضوع لأنني أملك استثمارات في شركتي بيوند ميت (Beyond Meat) وإيمبوسيبل فودز (Impossible Foods)، اللتين بدأتا بتصنيع منتجات اللحوم النباتية وطرحها في الأسواق؛ ولكن لا يسعني سوى القول إنّ اللحوم الاصطناعية طيبة المذاق، خاصة إذا ما حُضِّرت بالطرق الصحيحة، بحيث تصبح بديلًا مقنعًا للحم المفروم. في مطلق الأحوال، تعتبر البدائل المطروحة كلها صديقة للبيئة، لأنها تستهلك كميات أقل من المياه والأراضي ولا تتسبّب بكثير من الانبعاثات. كما أننا لا نحتاج إلى كميات كبيرة من البذور لإنتاجها، ما يخفّف الضغط على المحاصيل الغذائية والأسمدة. ولا ننسى أيضًا أنّ ذلك يعزّز رفاه الحيوان بحيث يقلّ عدد المواشي المحتجزة في أقفاص صغيرة.

غير أنّ اللحوم الاصطناعية هي ثمرة علاوات خضراء ضخمة. فالتكلفة الوسطية لبديل اللحم المفروم أعلى من تكلفة اللحوم بنسبة 86 % تقريبًا. ولكن في حال ارتفاع مبيعات هذه البدائل، وطرحها بكميات أكبر في الأسواق، فأنا واثق من أنها ستصبح في نهاية المطاف أقل تكلفة من اللحوم الحيوانية.

وتبقى المشكلة الرئيسة المتصلة باللحوم الاصطناعية في المذاق وليس في الثمن. فعلى الرغم من سهولة محاكاة بنية قطع الهامبرغر من خلال النباتات، من الصعب جدًا خداع الناس وإقناعهم بأنهم يأكلون قطعة ستيك أو صدر دجاج. هل سيحب الناس اللحم الاصطناعي ويوافقوا على إحلاله محلّ اللحم الحيواني، وهل سيقوم عدد كافٍ من الناس بذلك لإحداث فرق ملموس؟

تشير بعض الأدلة المتوافرة إلى أنّ ذلك ممكن. وعلي الاعتراف بأنني فوجئت كثيرًا بمدى إتقان شركتي بيوند ميت وإيمبوسيبل فودز للمنتجات التي تصنعانها، خاصة بعد العثرات التي واجهتهما في البداية. فقد شاركت في عرض أقامته شركة إيمبوسيبل فودز حيث أحرق الهامبرغر بشدة ما أدى إلى إطلاق جهاز إنذار الحريق. والحق يقال إن رؤية تلك المنتجات منتشرة على نطاق واسع، لاسيّما في منطقة سياتل والمدن التي زرتها، أثارت دهشتي. في العام 2019، حقّقت شركة بيوند ميت نجاحًا بارزًا في الاكتتاب العام الأوّلي للشركة. صحيح أنّ هذه المبادرة قد تحتاج إلى عقد آخر لتحقّق الغاية المنشودة منها، ولكنني واثق من أنها ستلقى رواجًا لدى كلّ من يشعر بالقلق حيال التغيُّر المناخي والبيئة، خاصة إذا ما تحسّنت جودتها وأسعارها.

تتوافر مقاربة أخرى شبيهة بمقاربة اللحوم النباتية، ولكن عوضًا عن زراعة النباتات ومعالجتها ليصبح مذاقها قريبًا من مذاق اللحم البقري، يُنتَج اللحم في المختبر. لا شك أنّ الأسماء التي تطلق عليه، ومنها «اللحم القائم على زراعة الخلايا»، «اللحم المزروع» و«اللحم النظيف» تجعله يفقد جاذبيته، إلّا أنّ عددًا كبيرًا من الشركات باشر بتصنيعه لطرحه في السوق، بحيث يُتوقّع

أن تُصبح منتجاتها متوافرة على الرفوف في المتاجر بحلول منتصف العشرينيات من القرن الحالي.

تذكّر أنها ليست *بدائل لحوم*، لأن اللحم المزروع يحتوي على كافة الدهون والألياف العضلية والأوتار التي نجدها في أيّ حيوان يسير على قائمتين أو أربع قوائم. ولكن بدلًا من تربيته في المزارع، يُنتَج في المختبر. بدأ العلماء بالعمل على بعض الخلايا المأخوذة من حيوانات حيّة، ثمَّ تركوها حتى تتكاثر قبل أن تُجمع لتشكيل الأنسجة التي اعتدنا على أكلها. يمكن القيام بهذه العملية بكمية قليلة أو من دون أيّ انبعاثات لغازات الاحتباس الحراري، بحيث أننا لا نحتاج سوى إلى الكهرباء لتشغيل المختبرات حيث تجري هذه العملية. يتمثّل التحدّي الأساسي لهذه المقاربة في ارتفاع تكلفتها، ولم يتّضح بعد ما إذا كان من الممكن خفض هذه التكلفة أم لا.

تواجه المقاربتان المتعلّقتان باللحوم الاصطناعية معركة صعبة، بحيث أنّ ما لا يقلّ عن 17 من المجالس التشريعية للولايات في أميركا تسعى لمنع تصنيف هذه المنتجات ضمن اللحوم في المتاجر. كما أنّ إحدى الولايات تقدّمت باقتراح لمنع بيعها بشكل نهائي. ما يعني أنّ التقدّم التكنولوجي وانخفاض تكلفة تصنيع هذه المنتجات لن يكونا كافيين، لأنه ينبغي لنا أن نخوض نقاشًا عامًا صحيًا وسليمًا حول كيفية تنظيم تصنيع المنتجات، وتوضيبها وبيعها.

تتمثّل المقاربة الأخيرة لخفض الانبعاثات الناجمة عن المواد الغذائية المستهلكة في خفض الكميات المهدورة. ففي أوروبا، وبعض المناطق الصناعية في آسيا، والبلدان الأفريقية جنوب الصحراء، يُرمى ما لا يقلّ عن 20 % من المواد الغذائية أو يُترك ليتعفّن أو يُهدَر. يمكن أن تصل هذه النسبة إلى

40 % في الولايات المتحدة. ما له تأثير سيّئ بالنسبة إلى الأشخاص الذين لا يستطيعون تأمين ما يكفي من الطعام، وبالنسبة إلى الاقتصاد، وبالنسبة إلى المناخ. عندما يتعفّن الطعام المهدور، تنبعث منه كمية كافية من الميثان للإسهام في الاحترار العالمي بنسبة توازي ما يسبّبه 3.3 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا.

يرتكز الحلّ الأمثل في تغيير السلوك، والاعتماد بشكل أكبر على ما هو متوافر لدينا، بالاستعانة بالتكنولوجيا الحديثة. فقد باشرت مثلًا شركتان بتطوير غلاف خارجي غير مرئي، نباتي المصدر يساعد على إطالة حياة الفاكهة والخضار، كما أنه صالح للأكل ولا يؤثّر على المذاق. كما باشرت شركة أخرى بتطوير «سلّة المهملات الذكية» تستخدم تقنية تعرُّف الصور لتعقّب كمية الطعام المهدور في المنزل أو في المكتب، ما من شأنه أن يحدّد الكميات التي تُرمى، وتكلفتها وبصمتها الكربونية. قد يبدو هذا النظام انتهاكيًا، ولكنه يساعد الناس على القيام بخيارات أفضل من خلال تزويدهم بمعلومات أكثر تفصيلًا.

لسنوات قليلة خلت، دخلت إلى مستودع في دار السلام في تنزانيا، وشاهدت منظرًا سحرني: آلاف الأطنان من الأسمدة التجارية المكدّسة على شكل ركام ثلجي. يشكّل المستودع جزءًا من مركز يارا لتوزيع الأسمدة، وهو مركز حديث المنشأ والأكبر من نوعه في أفريقيا الشرقية. وخلال الجولة التي قمت بها داخل المستودع، تحدّثت مع العمال الذين كانوا يملأون الأكياس بكريات صغيرة بيضاء تحتوي على النيتروجين والفوسفور وسواها من العناصر المغذّية التي ستستخدم في تغذية المحاصيل في إحدى المناطق الأكثر فقرًا في العالم.

كانت رحلة من الرحلات التي أهواها. قد يبدو كلامي سخيفًا، ولكنّ الأسمدة تنطوي بالنسبة إليّ على شيء من السحر، ليس لأنها تجعل الحدائق والأفنية الخارجية أجمل، بل لأنها شكّلت عاملًا أساسيًا، إلى جانب القمح القزمي الذي توصّل إليه نورمان بورلوغ والأصناف الجديدة من الذرة والأرزّ، في الثورة الزراعية التي غيّرت مسار العالم في الستينيات والسبعينيات. ويُعتقد بأنّ عدد سكان العالم كان ليكون أقل بنسبة 40 % أو 50 من دون الأسمدة التجارية.

يستخدم العالم حاليًا كميات كبيرة من الأسمدة، وعلى البلدان الفقيرة استخدام كميات أكبر منه. فالثورة الزراعية التي أشرت إليها آنفًا، والمعروفة أيضًا بالثورة الخضراء، تخطّت أفريقيا إلى حد كبير، حيث لا يُجاوز ما يحصده المزارع التقليدي من أطعمة غذائية لكل أكر، خُمس الكمية التي يحصدها المزارع الأميركي. ومردّ ذلك إلى أنّ معظم المزارعين في الدول الفقيرة لا يملكون ما يكفي من المال لشراء الأسمدة، بحيث أنها أغلى ثمنًا من الدول الغنية لأنّ نقلها إلى المناطق الريفية عبر الطرق الرديئة البناء مكلف جدًا.

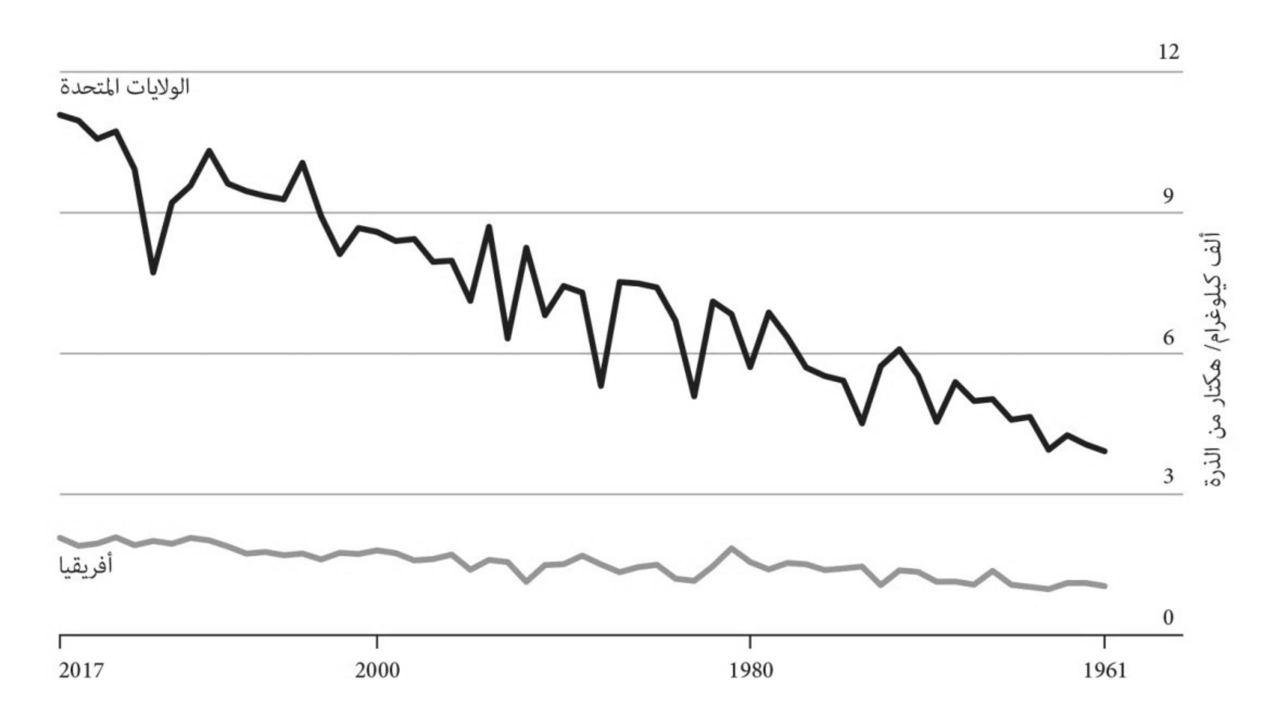


جولة في مرفق يارا لتوزيع الأسمدة في دار السلام، بتنزانيا، في العام 2018. كنت مستمتعًا أكثر مما أبدو عليه في الصورة.

في حال تمكّنا من مساعدة المزارعين الفقراء على زيادة غلّة محاصيلهم، سوف يكسبون مزيدًا من النقود لتأمين كميات كافية من المواد الغذائية، وسيتمكّن بالتالي ملايين الأشخاص في البلدان الأكثر فقرًا في العالم من تأمين الغذاء والعناصر الغذائية التي يحتاجون إليها (سنتطرّق إلى هذا الموضوع بشكل معمّق في الفصل 9).

ما السحر الذي تنطوي الأسمدة عليه؟ تؤمّن الأسمدة للنباتات العناصر المغذّية الأساسية، كالفوسفور والبوتاسيوم، إضافةً إلى عنصر النيتروجين المتّصل بشكل خاص بالتغيُّر المناخي. فالنيتروجين نعمة ونقمة في آن، إذ يرتبط بشكل وثيق بالتركيب الضوئي أو العملية التي تحوّل النباتات من خلالها أشعة الشمس إلى الطاقة التي تحتاج إليها لتبقى حيّة، وتتمكّن بالتالي من

تزويدنا بالمواد الغذائية اللازمة. ولكنّ النيتروجين مسؤول عن جعل التغيُّر المناخي أسوأ بكثير. ولنتمكّن من فهم السبب، علينا أن نتحدّث بشكل مفصّل عن تأثيره على النباتات.



ثمة ثغرة هائلة في القطاع الزراعي. فبفضل الأسمدة والتحسينات الأخرى، زادت كمية الذرة التي يحصدها المزارع الأميركي لكل وحدة من الأرض، في حين أنّ غلّة المزارع الأفريقي بقيت على حالها نسبيًا. إنّ سدّ هذه الثغرة من شأنه أن ينقذ حياة كثيرين ويساعدهم على التخلّص من الفقر؛ ولكن الابتكار على هذا المستوى أمر أساسي لاجتناب تفاقم التغيُّر المناخي. (منظمة الأغذية والزراعة)

تتطلّب زراعة المحاصيل أطنانًا من النيتروجين، وكميات أكبر بكثير من تلك المتوافرة في السياقات الطبيعية. فعند إضافة النيتروجين، يمكن أن يصل ارتفاع الذرة إلى 10 أقدام وبالتالي تُنتج كميات هائلة من البذور. ومن الغريب ألَّا تتمكّن معظم النباتات من إنتاج النيتروجين تلقائيًا، بل تستمدّ من الأمونيا المتوافر في التربة والذي يتشكّل من مجموعة متنوّعة من العضويات المجهرية. تواصل النبتة نموّها ما دامت قادرة على الحصول على النيتروجين،

وستفنى فور استنفادها كلّ الكمية المتوافرة منه. لهذا السبب، لا بُدّ من إضافته لتعزيز نموّها.

لجأ الإنسان إلى توفير النيتروجين لمحاصيله منذ آلاف السنين عبر استخدام الأسمدة الطبيعية كالزبل وسماد الطيور. لكنّ الاختراق الكبير حدث في العام 1908 عندما توصّل عالِما كيمياء ألمانيان هما فريتز هابر وكارل بوش إلى اكتشاف كيفية إنتاج الأمونيا من النيتروجين والهيدروجين في المصانع. ولستُ أبالغ حين أقول إنّ الاختراع الذي توصّلا إليه بالغ الأهمية؛ فما يُعرف بعملية هابر-بوش تُسهّل إنتاج الأسمدة التجارية، وبالتالي توسعة كلّ من كمية الأغذية القابلة للزراعة ونطاق المناطق الجغرافية حيث يمكن زراعتها. إنها الطريقة نفسها التي نعتمدها حاليًا لإنتاج الأمونيا. يعتبر الاختراق الذي حقّقه هابر-بوش الإنجاز الأكثر أهمية الذي لم يسمع به معظم الناس أبدًا [15]، تمامًا كما أنّ نورمان بورلوغ هو من أبرز أبطال التاريخ المغمورين.

تكمن المشكلة في ما يلي: تستنفد العضويات المجهرية المسؤولة عن إنتاج النيتروجين كثيرًا من الطاقة في خلال العملية، بحيث أنها لا تعمل على إنتاجه إلّا عند الاقتضاء، أيّ في حال عدم توافره في التربة المحيطة بها. فهذه العضويات المجهرية مطوّرة بما يكفي للتوقّف عن إنتاج النيتروجين في حال توافره بشكل كافٍ، وتخزين الطاقة لاستهلاكها في استعمالات أخرى. لذا، عند إضافة الأسمدة التجارية، تشعر العضويات الطبيعية بالنيتروجين وتتوقّف عن إنتاجه بشكل تلقائي.

من السلبيات الأخرى التي تنطوي عليها الأسمدة التجارية أنّ إنتاجها يقتضي تصنيع الأمونيا، الذي يتطلّب بدوره درجات حرارة مرتفعة يمكن

الحصول عليها عبر حرق الغاز الطبيعي المسبِّب لانبعاثات غازات الاحتباس الحراري. كما أنّ نقلها من المنشأ حيث تمّت عملية الإنتاج إلى المستودع حيث سوف تُخزَّن (كالمكان الذي زرته في تنزانيا) وبالتالي إلى المزارع التي ستستعملها، علينا تحميلها في شاحنات تعمل على البنزين. وفي الختام، وبعد نثر الأسمدة على التربة، لا تمتصّ النباتات الكمية الأكبر من النيتروجين الموجود فيها؛ فالمحاصيل لا تحتاج، في الواقع، سوى إلى نصف كمية النيتروجين المستخدم في الحقول الزراعية. أما الكمية المتبقّية، فتتغلغل في باطن الأرض أو تتسرّب إلى أسطح المياه، مسبِّبة التلوّث، أو تنبعث في الهواء على شكل أكسيد النيتروجين المسؤول عن الاحتباس الحراري العالمي 265 مرة أكثر من ثاني أكسيد الكربون.

باختصار، تبيّن في العام 2010 أنّ الأسمدة مسؤولة عن 1.3 مليار طن من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، ومن المتوقّع أن يرتفع هذا الرقم إلى 1.7 مليار طن في منتصف القرن. هابر-بوش هما اللذان أعطيا، وهابر-بوش هما اللذان يأخذان.

من المؤسف القول إنه لا يتوافر حاليًا أيّ بديل عملي للأسمدة خالٍ من الكربون. صحيح أنه من الممكن التخلّص من الانبعاثات المترتّبة عن إنتاج الأسمدة عبر استعمال الكهرباء النظيفة بدلًا من الوقود الأحفوري لتركيب الأمونيا، إلَّا أنّ تكلفة هذه العملية مرتفعة ومن الممكن أن يترتّب عنها ارتفاع هام في أسعار الأسمدة. ففي الولايات المتحدة مثلًا، من الممكن أن يؤدّي تطبيق هذه العملية في إنتاج الأسمدة النيتروجينية الممزوجة باليوريا إلى ارتفاع تكلفتها بنسبة 20 %.

ولكنّ معالجة الانبعاثات المترتّبة عن إنتاج الأسمدة تختلف عن معالجة غازات الاحتباس الحراري المنبعثة في أثناء استخدامها، بحيث لا توجد تقنية لالتقاط أكسيد النيتروجين شبيهة بتقنية التقاط الكربون. ما يعني أنه لا يمكن حساب العلاوة الخضراء للأسمدة الخالية من الكربون، التي تشكّل بدورها معلومة مفيدة، لأنها تدلّ على مدى حاجتنا إلى الاختراقات على هذا الصعيد.

من الناحية التقنية، يمكن تعزيز امتصاص المحاصيل للنيتروجين بشكل أكثر كفاءة، في حال توافرت لدى المزارعين التقنية اللازمة لمراقبة مستويات النيتروجين بدقة بالغة واستعمال الأسمدة بالكميات الصحيحة خلال موسم الزراعة. غير أنّ هذه العملية عالية التكلفة وتستغرق وقتًا طويلًا، في حين أنّ الأسمدة بخسة الثمن (أقلّه في الدول الغنية)، ما يعني أنه من الأفضل استعمال كمية أكبر من التي تحتاج إليها، حرصًا على أن تكون الكمية كافية لتعزيز نمو المحاصيل.

طوّرت بعض الشركات مضافات غذائية من شأنها مساعدة النباتات على امتصاص مزيد من النيتروجين بحيث لا تكون الكمية المتبقّية المتسرِّبة إلى باطن الأرض أو المنبعثة في الغلاف الجوي كبيرة. غير أن هذه المضافات لا تُستخدم إلَّا مع 2 % من الأسمدة العالمية، لأنها لا تؤدّي عملها بشكل متّسق، والمصنّعون لا يبذلون أيّ جهد لتحسينها.

ويتبع خبراء آخرون طرقًا مختلفة تمامًا لحل مشكلة النيتروجين. إذ يجري بعض الباحثين مثلًا اختبارات جينية متعلّقة بأصناف جديدة من المحاصيل قابلة للتزوّد بالبكتيريا اللازمة لتثبيت النيتروجين الذي تحتاج إليه. كما طوّرت إحدى الشركات ميكروبات معدَّلة جينيًا قادرة على تثبيت النيتروجين؛ فبدلًا من إضافة النيتروجين عبر الأسمدة، تضاف إلى التربة بكتيريا معدّة لإنتاج

النيتروجين حتى في حال توافره. في حال نجاح هذه المقاربات، ستُسهم في خفض الطلب على الأسمدة والانبعاثات المسؤولة عنها.

يعدّ كلّ ما ورد أعلاه، والذي أصفه بصورة عامة بالزراعة، مسؤولًا عمّا يقرب من 70 % من الانبعاثات المترتّبة عن الزراعة، الحراجة والاستعمالات الأخرى للأراضي. ويمكنني اختصار نسبة 30 % المتبقّية بعبارة واحدة وهي «إزالة الغابات».

بحسب البنك الدولي، خسر العالم أكثر من نصف مليون ميل مربع من الغابات منذ العام 1990. (تعتبر هذه المساحة أكبر من جنوب أفريقيا أو البيرو، وتشكّل انخفاضًا بنسبة 3 %). تترك عملية إزالة الغابات تأثيرًا فوريًا وواضحًا، بحيث أنّ احتراق الأشجار مثلًا سوف يتسبب بإطلاق ثاني أكسيد الكربون الموجود فيها، إلَّا أنها مسؤولة أيضًا عن أضرار من الصعب رؤيتها بالعين المجردة. فعند اقتلاع الشجر من الأرض، ستضطرب التربة التي تحتوي على كمية كبيرة من الكربون (تبيّن أنّ كمية الكربون الموجودة في التربة أكبر من تلك الموجودة في الغلاف الجوي والحياة النباتية مجتمعة). وعند إزالة الأشجار، تُطلق التربة الكربون المخزَّن فيها في الغلاف الجوي على شكل ثاني أكسيد الكربون.

من الممكن إيقاف عملية إزالة الغابات لو أنها تحدث للأسباب نفسها في كلّ مكان، ولكنّ ذلك لا ينطبق في هذه الحالة. في البرازيل مثلًا، تمّ القضاء على جزء كبير من غابات الأمطار في الأمازون خلال العقود القليلة الماضية لتوفير مراعٍ للماشية (تقلّصت مساحة الغابات في البرازيل بنسبة 10 % منذ العام 1990). وبما أنّ الأطعمة الغذائية تعتبر من السلع العالمية، من الممكن أن يحدث ما يُستهلك في بلد معين تغيُّرات في استخدام الأراضي في

بلد آخر. إذ ساهم ارتفاع الطلب على اللحوم في تسريع عجلة عملية إزالة الغابات في أميركا اللاتينية، بحيث ارتبطت زيادة كمية شرائح الهامبرغر بخفض عدد الأشجار.

أدّى ذلك إلى زيادة سريعة في كمية الانبعاثات؛ فقد أظهرت دراسة أجراها معهد الموارد العالمية أنه في ظل التغيُّرات الطارئة على استعمالات الأراضي، يعتبر النظام الغذائي الأميركي الطراز مسؤولًا عن الانبعاثات شأنه شأن الطاقة التي يستخدمها الأميركيون في توليد الكهرباء والصناعة والنقل والبناء.

غير أنّ إزالة الغابات لا تهدف في أجزاء أخرى من العالم إلى توفير مزيدٍ من شرائح الهامبرغر أو اللحم. ففي أفريقيا مثلًا، تهدف إزالة الغابات إلى تطهير الأراضي لزراعة الأطعمة الغذائية وتأمين الوقود لتلبية حاجات النمو السكاني في القارة. من جهتها، خسرت نيجيريا، التي تسجّل أعلى معدلات في العالم في إزالة الغابات، أكثر من 60 % من الغطاء الحرجي منذ العام 1990، وهي تعدّ حاليًا من أبرز مصدّري الفحم المصنّع من الاحتراق غير الكامل للخشب، في العالم.

في إندونيسيا، تقطع الأشجار في الغابات لاستبدالها بأشجار النخيل التي توفّر زيت النخيل الذي تجده في كلّ شيء، من الفشار الذي يباع في صالات السينما وصولًا إلى الشامبو. ولهذا السبب، تحتلّ إندونيسيا المرتبة الرابعة في العالم لجهة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

كنت أتمنّى لو تتوافر أيّ اختراقات قادرة على حفظ سلامة الغابات في العالم لأخبرك عنها. من الممكن أن تساعد بعض الأشياء على تحقيق ذلك، كأجهزة المراقبة الساتلية المتقدّمة التي من شأنها رصد عمليات إزالة الغابات

والنيران في الغابات عند وقوعها، وتحديد مدى الضرر الناجم بعد ذلك. كما تبيّن لي أنّ بعض الشركات تعمل على تطوير بدائل اصطناعية لزيت النخيل للحدّ من قطع أشجار الغابات واستبدال أشجار النخيل بها.

ولكنّ المشكلة ليست تقنية في الدرجة الأولى، بل سياسية واقتصادية. فالناس لا يقطعون الأشجار لأنهم يضمرون الأذى، بل لأنّ الحوافز الموفّرة لقطع الأشجار أقوى من الحوافز الخاصة بالحفاظ عليها. ما يعني أننا في حاجة إلى حلول سياسية واقتصادية، بما في ذلك الدفع للبلدان للحفاظ على غاباتها، تطبيق الأنظمة المخصّصة لحماية بعض المناطق، والتحقّق من توافر فرص اقتصادية مخالفة للمجتمعات الريفية للحؤول دون لجوئها إلى استخراج الموارد الطبيعية لتتمكّن من البقاء.

لعلّك سمعت عن الحلّ القائم على إعادة التحريج للتصدي للتغيُّر المناخي: والمقصود بذلك إعادة زرع الأشجار كوسيلة لالتقاط ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. على الرغم من أنّ الفكرة تبدو بسيطة، وميسورة التكلفة لالتقاط الكربون، وستلقى حتمًا ترحيبًا لدى محبّي الأشجار، إلّا أنها تمهّد الطريق لمسألة شائكة جدًا: فهي بحاجة إلى دراسة معمّقة، لأنّ تأثيرها على التغيُّر المناخي مبالغ فيه بعض الشيء.

يجب أن نأخذ بالاعتبار عددًا من العوامل، كما هي الحال في أغلب الأحيان في مسألة الاحترار العالمي...

كم يبلغ مقدار ثاني أكسيد الكربون الذي تستطيع الشجرة امتصاصه خلال فترة حياتها؟ تختلف الكمية بين شجرة وأخرى، ولكنها تقرب من أربعة أطنان على امتداد 40 سنة.

كم تبلغ مدّة حياة الشجرة؟ في حال احتراقها، ينبعث ثاني أكسيد الكربون المخزَّن فيها في الغلاف الجوي.

ماذا كان يمكن أن يحصل لو أنك لم تغرس هذه الشجرة؟ في حال نمو الشجرة بشكل طبيعي، فذلك يعني أنك لم تتسبّب بأيّ امتصاص إضافي لكربون.

في أيّ جزء من العالم ستغرس الشجرة؟ تتسبّب الأشجار بشكل عام، في المناطق الجليدية بالاحترار أكثر من البرودة، لأنّ لونها داكن مقارنة بالثلج والجليد المحيط بها، والأشياء الداكنة تمتصّ الحرارة أكثر من الأشياء الفاتحة اللون. من ناحية أخرى، تتسبّب الأشجار في الغابات الاستوائية بالبرودة أكثر من الاحترار، لأنها تطلق كمية كبيرة من الرطوبة تتحوّل إلى غيوم تعكس نور الشمس. أما الأشجار الواقعة عند خطوط العرض المتوسّطة، بين المدارات الاستوائية والقطبية، فهي مستنقعية نوعًا ما.

هل من نباتات أخرى مزروعة في هذه البقعة؟ في حال استبدلت بمزرعة لفول الصويا غابة أشجار، ستنخفض الكمية الإجمالية المتوافرة من فول الصويا، وبالتالي يرتفع سعره، ما سيدفع بأحدهم إلى قطع الأشجار في مكان آخر لزرع فول الصويا. سيعوّض ذلك عن العمل الجيد الذي قمت به عند غرس الأشجار.

بعد أخذ هذه العوامل كلّها بالاعتبار، تشير المسائل الحسابية إلى أننا في حاجة إلى ما يوازي 50 أكرًا من الأشجار في المناطق الاستوائية، لامتصاص الانبعاثات التي يتسبّب بها مواطن أميركي عادي في حياته. إذا ما

ضربنا ذلك بعدد السكان في الولايات المتحدة، سنحصل على 160 مليار أكر، أو 25 مليون ميل مربع، أيّ ما يعادل نصف الكتلة الأرضية في العالم. تجدر الإشارة هنا إلى أنه ينبغي الحفاظ على هذه الأشجار إلى الأبد، كما وأنّ المسألة الحسابية ترتبط بالولايات المتحدة فحسب، بحيث أننا لم نأخذ بالاعتبار الانبعاثات من الدول الأخرى.

لا أريد أن يسيء أحد فهمي: ففوائد الأشجار كثيرة، منها جمالية وأخرى بيئية، وعلينا أن نغرس مزيدًا منها. في أغلب الأحوال، لا يمكن غرس الأشجار إلَّا في الأماكن التي كانت مزروعة فيها، ما يعني أنّ زراعتها قد تساعد على التخفيف من الأضرار الناجمة عن إزالة الغابات. غير أنه لا تتوافر أيّ طريقة عملية لزرع كمية كافية منها للتصدي للمشكلات المترتّبة عن حرق الوقود الأحفوري. تتمثّل الاستراتيجية الوحيدة الفعّالة لمعالجة التغيُّر المناخي من خلال التشجير في التوقّف عن قطع هذا الكَمّ من الأشجار.

ولكنّ الحصيلة النهائية لهذا كلّه هي أننا سنحتاج قريبًا جدًا إلى إنتاج 70 % إضافية من الأطعمة الغذائية مع العمل في خط موازٍ على خفض الانبعاثات، على أن نصل في نهاية المطاف إلى التخلّص منها بشكل نهائي. سيتطلّب ذلك أفكارًا جديدة كثيرة، بما في ذلك أساليب جديدة لمدّ النباتات بالسماد، وتربية الماشية، وتلْف كمية أقل من الطعام، كما يجب على سكان البلدان الغنية تغيير بعض العادات، كالتخفيف من استهلاك اللحوم، حتى وإن كان الولع بالهامبرغر متوارثًا في العائلة.

الفصل السابع

وسائل النقل

16 % من 52 مليار طن في السنة

فلنبدأ باختبار سريع من سؤالين فقط.

1. أيّ من هذه المواد يحتوي على كمية أكبر من الطاقة؟

أ. غالون من الوقود

ب. إصبع ديناميت

ج. قنبلة يدوية

2. أيّ من هذه المواد هو الأرخص ثمنًا في الولايات المتحدة؟

أ. غالون من الحليب

ب. غالون من عصير البرتقال

ج. غالون من الوقود

إن الإجابة الصحيحة على كلٍّ من السؤالين هو الوقود. فالوقود يحتوي على كمية هائلة من الطاقة بحيث أنّ الطاقة المتوافرة في كلّ غالون منه توازي تلك التي تطلقها مجموعة من 130 إصبعًا من الديناميت. لا ريب أنّ الديناميت يطلق طاقته كلها دفعة واحدة في حين أنّ الوقود يحرقها ببطء، ما يعتبر سببًا وجيهًا لملء سياراتنا بالوقود وليس بأصابع متفجّرة.

يعتبر الوقود في الولايات المتحدة رخيصًا نسبيًا، على الرغم من أنّ الوضع يوحي بخلاف ذلك عند التوقّف عند المحطة للتزوّد بالوقود. بصرف النظر عن الحليب وعصير البرتقال، في ما يلي بعض المواد التي تعدّ أرخص ثمنًا، لكل غالون مقابل غالون: مياه داساني المعبّأة، الزبادي، العسل، مسحوق الغسيل، شراب القيقب، معقّم اليدين، الكافيه لاتيه من ستاربكس، مشروب الطاقة ريد بول، زيت الزيتون، إضافة إلى نبيذ تشارلز شو الميسور التكلفة الذي يمكن التزوّد به من متاجر ترايدر جو. هذا صحيح، الوقود أرخص من النبيذ المعروف بـ «*Two Buck Chuck*». لكل غالون مقابل غالون.

عند قراءة القسم المتبقي من هذا الفصل، ضع هاتين الميزتين الأساسيتين المتعلّقتين بالوقود بالاعتبار: تأثيره قوي جدًا وثمنه زهيد [16]. إنه السبيل الوحيد لتتذكر بأن الوقود هو القاعدة الذهبية في كلّ مرة تحسب فيها كمية الطاقة التي تحصل عليها مقابل كلّ دولار تنفقه. بالإضافة إلى المنتجات المشابهة كالديزل ووقود النفاثات، لا يمكن لأي مادة أخرى متوفرة في حياتنا اليومية أن تؤمن لنا هذا الكم من الطاقة للغالون الواحد وبهذه التكلفة الميسورة.

تنطوي المفاهيم المزدوجة للطاقة الموفّرة لكل وحدة من الوقود ولكلّ دولار منفق على أهمية كبيرة في إطار البحث عن طرق لإزالة الكربون من أنظمة النقل. فالجميع يعي أنّ إحراق الوقود في سياراتنا، وسفننا،

وطائراتنا يتسبّب بانبعاث ثاني أكسيد الكربون الذي يُسهم في الاحتباس الحراري العالمي. وبالتالي، لن نتمكّن من بلوغ نقطة الصفر إلّا عبر التحوّل من ذلك الوقود إلى مادة توازيه غنى بالطاقة وبهذا الثمن الزهيد.

أظن أنّ التحدّث عن إسهام وسائل النقل بنسبة 16 % من الانبعاثات العالمية، في هذه المرحلة المتأخّرة من الكتاب، لكونها تحتلّ المرتبة الرابعة بعد صناعة الأشياء، والوصل بالقابس، والزراعة وتربية الماشية، قد أثار استغراب البعض. فوجئت بدوري عندما علمت بالأمر، وأظنّ أن معظم الناس في القارب نفسه. فإذا حاولت التحدّث مع أيّ شخص غريب يمكن أن تصادفه في الشارع وتسأله عن الأنشطة الأكثر إسهامًا في التغيُّر المناخي، سيجيبك حتمًا: إحراق الفحم لتوليد الكهرباء وقيادة السيارات والطائرات.

إنّ الارتباك الحاصل منطقي جدًا: فعلى الرغم من أنّ وسائل النقل ليست المسبِّب الأبرز للانبعاثات في العالم، إلّا أنها تحتلّ المرتبة الأولى في الولايات المتحدة، منذ سنوات بعيدة، قبل ظهور الكهرباء. فنحن الأميركيون، نمارس قيادة السيارات والطائرات بشكل مكثّف. وفي مطلق الأحوال، لا يسعنا بلوغ الصافي الصفري للانبعاثات إلّا في حال التخلّص من غازات الاحتباس الحراري كافة الناجمة عن وسائل النقل في الولايات المتحدة كما في مختلف أنحاء العالم.

هل سيكون الأمر صعبًا؟ صعبٌ جدًا، ولكن ليس مستحيلًا.

في 99.9 % من الجزء الأوّل من تاريخ البشرية، تمكّنا من التنقّل من دون الاعتماد على الوقود الأحفوري بكافة أشكاله. كنا نعتمد على السير على الأقدام، ونركب الحيوانات، ونبحر في السفن الشراعية. في بداية القرن التاسع عشر، اكتشفنا كيفية تشغيل القاطرات والبواخر بوساطة الفحم،

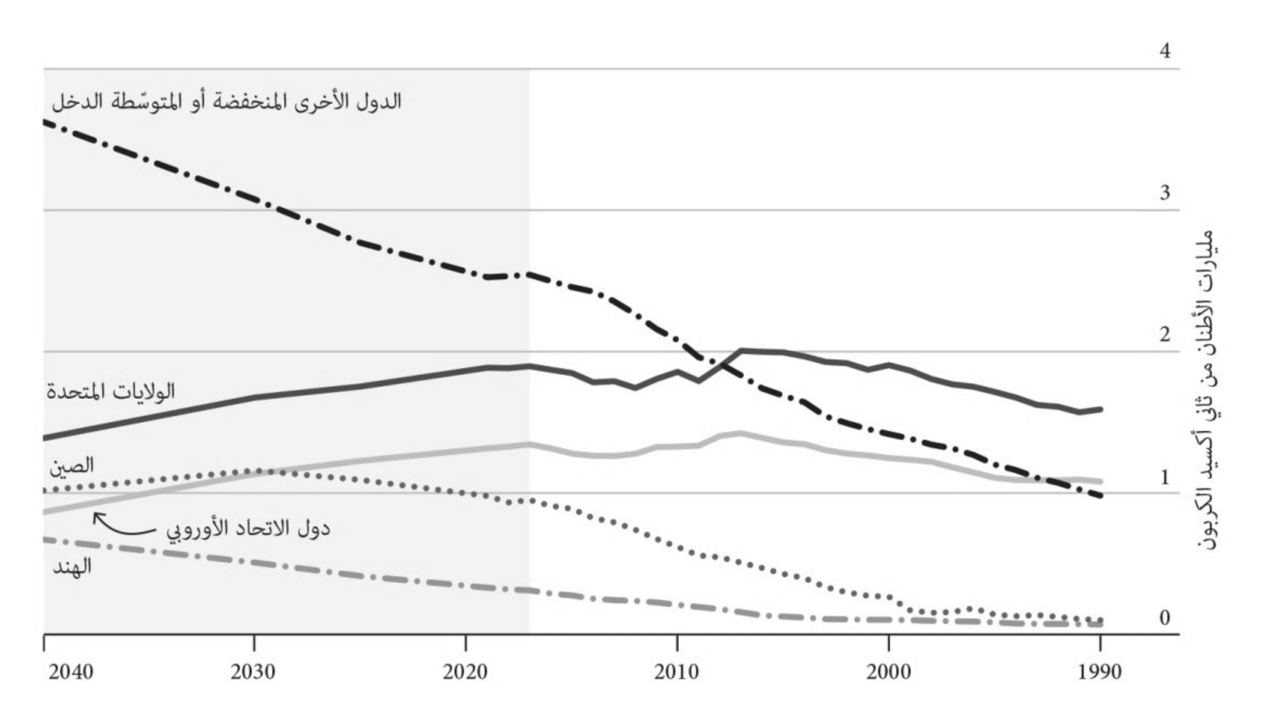
وقرّرنا منذ تلك اللحظة ألَّا ننظر إلى الوراء أبدًا. وفي غضون قرن واحد، كانت القطارات تعبر القارات والسفن تجتاز المحيطات ناقلةً الأشخاص والسلع. في أواخر القرن التاسع عشر، ظهرت السيارات التي تعمل على الوقود، وتبعتها في بداية القرن العشرين الرحلات الجوية التجارية التي أصبحت ضرورية جدًا للاقتصاد العالمي المعاصر.

على الرغم من مرور حوالى 200 سنة على إحراق الوقود الأحفوري الأوّل لتشغيل وسائل النقل، انتهى الأمر بنا بالاعتماد عليه بشكل أساسي. ولن نتمكّن من التخلّي عنه من دون بديل بهذا الثمن الزهيد وقابل لتغذية السفر لمسافات طويلة.

في ما يلي تحدٍّ من نوع آخر: لسنا في حاجة إلى القضاء على 8.2 مليار طن من الكربون المنبعثة من وسائل النقل فحسب، بل علينا أن نتخلّص من كمية أكبر بعد. بالاستناد إلى توقّعات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، سيستمرّ الطلب على وسائل النقل بالتزايد لغاية العام 2050 على الأقل، على الرغم من أنّ انتشار فيروس كوفيد-19 قد أدّى إلى الحدّ من السفر والتجارة. فالطيران، والنقل البري والبحري، وليس مركبات الركاب، هي المسؤولة عن زيادة الانبعاثات في هذا القطاع. يُعنى النقل البحري بتسعة أعشار البضائع المتداولة حول العالم، من حيث الحجم، مسهمًا بذلك بما يقرب من 3 % من الانبعاثات العالمية.

في حين ترتبط معظم الانبعاثات المتّصلة بوسائل النقل بالدول الثرية، بلغت معظم هذه الدول الذروة في العقد الماضي وبدأت بعدها بالتراجع نوعًا ما. ترتبط حاليًا الزيادة المسجّلة في الانبعاثات الكربونية الناجمة عن وسائل النقل بالدول النامية نتيجة نمو السكان، وازديادهم ثراءً وشرائهم مزيدًا من

السيارات. تعتبر الصين كالعادة خير مثال على ذلك، بحيث تضاعفت نسبة الانبعاثات المترتّبة عن وسائل النقل فيها بعامل 10 منذ العام 1990.



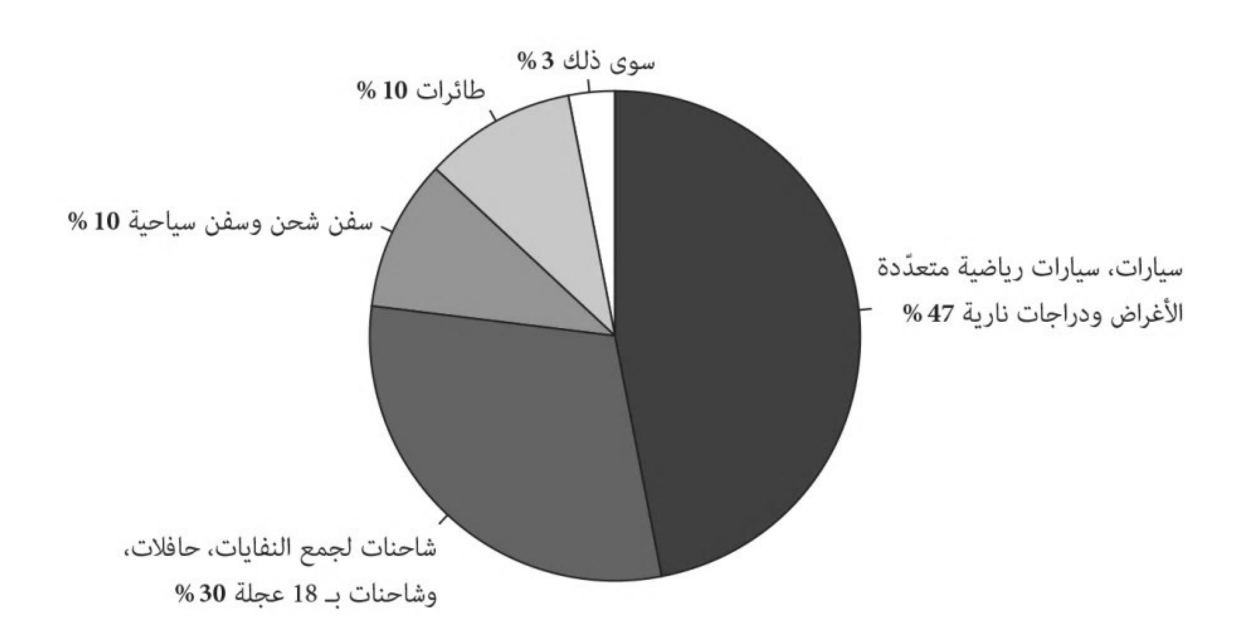
ساهم انتشار فيروس كوفيد-19 في إبطاء نمو الانبعاثات المترتّبة عن وسائل النقل من دون إيقافها كليًا. وفي حين أنّ هذه الانبعاثات من الممكن أن تتقلّص في بعض الأماكن، إلّا أنها ستزداد في الدول المنخفضة والمتوسّطة الدخل بحيث أن التأثير الكلّي سيتمثّل في زيادة غازات الاحتباس الحراري. (توقّعات الوكالة الدولية للطاقة العالمية 2020؛ مجموعة روديوم) سأوضح، على مستوى وسائل النقل، النقطة نفسها التي شرحتها في الفصول السابقة المتعلّقة بالكهرباء، والصناعة والزراعة، مع أنني أخشى أن أبدو في صورة الشخص الذي يكرّر نفسه. *يجدر بنا أن نشعر بالامتنان لتمكّن مزيد من الأشخاص والسلع من التنقّل بسهولة.* إنّ القدرة على التنقّل بين المناطق الريفية والمدن هي شكل من أشكال الحرية الشخصية، ناهيك عن أنها مسألة حياة أو موت بالنسبة إلى المزارعين الفقراء الذين يحتاجون إلى نقل محاصيلهم إلى الأسواق. تُسهم الرحلات الجوية الدولية في تحقيق الترابط بين دول العالم بطرق لم يكن أحد يتخيّلها لعقدٍ خلا؛ فإمكانية الالتقاء بأشخاص من دول أخرى تساعد على فهم الأهداف المشتركة، كما وأنّ خياراتنا لجهة الأطعمة الغذائية كانت، قبل ظهور وسائل النقل الحديثة، محدودة معظم أيام السنة. من جهتي، أحب العنب كثيرًا وأستمتع بتناوله طوال أيام السنة. غير أن ذلك لم يكن ممكنًا قبل ظهور سفن الحاويات التي تعمل بالوقود الأحفوري وتُعنى بنقل الفاكهة من أميركا الجنوبية.

كيف يسعنا إذن الحفاظ على فوائد السفر والنقل من دون إفساد المناخ وجعله غير قابل للعيش؟ هل تتوافر لدينا كافة التقنيات التي نحتاج إليها، أم أننا في حاجة إلى مزيد من الابتكارات؟

لنتمكّن من الإجابة على هذه الأسئلة، علينا أن نحدّد العلاوات الخضراء الخاصة بوسائل النقل. سنبدأ بالتدقيق بشكل مفصّل أكثر في مصدر تلك الانبعاثات.

يظهر الرسم البياني الدائري على الصفحة التالية نسبة الانبعاثات الصادرة عن السيارات، الشاحنات، الطائرات، السفن وإلى ما هنالك. يتمثّل هدفنا في بلوغ نقطة الصفر لكلٍّ منها.

كما تلاحظ، تعتبر عربات الركاب (السيارات العادية، السيارات الرياضية المتعدّدة الأغراض، الدراجات النارية، وما شابه) مسؤولة عمّا يقرب من نصف كمية الانبعاثات. أما الآليات المتوسّطة والثقيلة، بدءًا من شاحنات جمع النفايات وصولًا إلى المركبات المجهّزة بثماني عشرة عجلة، فتسهم بحوالى 30 %. يضاف إلى ذلك انبعاثات الطائرات التي توازي عشر الانبعاثات الإجمالية، شأنها في ذلك شأن سفن الحاويات وسواها من البواخر، فيما تسهم القطارات بالنسبة الأخيرة [17].



ليست السيارات المسؤولة الوحيدة عن الانبعاثات. فعربات الركاب مسؤولة عمّا يقرب من نصف الانبعاثات المتّصلة بوسائل النقل.

(المجلس الدولي للنقل النظيف)

سنتطرّق بشكل مفصّل إلى كلّ واحدة منها على حدة، بدءًا بالشريحة الأكبر من الرسم البياني الدائري، أو عربات الركاب، ونستعرض الخيارات المتوافرة لدينا حاليًا للتخلّص من الانبعاثات.

عربات الركاب. إنّ عدد المركبات المنتشرة على الطرق حول العالم يفوق المليار. ففي العام 2018، أُضيف حوالى 24 مليون عربة ركاب، بعد احتساب تلك المحالة إلى التقاعد. وبما أنّ إحراق الوقود يتسبّب لا محالة بإطلاق غازات الاحتباس الحراري، نحن في حاجة إلى استعمال بديل، بما في ذلك الوقود المصنوع من الكربون الموجود في الهواء بدلًا من الكربون الموجود في الوقود الأحفوري، أو أيّ شكل آخر من أشكال الطاقة بالإجمال.

في ما يتعلّق بالخيار الثاني، لحسن الحظ أننا نملك شكلًا آخر من أشكال الطاقة، تم التثبّت بالفعل من فعاليته، على الرغم من أنه لا يعتبر مثاليًا تمامًا. وأعتقد بأن السيارات التي تعتمد عليه تُباع في إحدى وكالات بيع السيارات المجاورة لمنزلك.

أصبح بإمكانك اليوم أن تشتري سيارة تعمل على الطاقة الكهربائية من أبرز المصنّعين في العالم، كشركة أودي، بي إم دبليو، شيفروليه، سيتروان، فورد، هوندا، هونداي، جاغوار، كيا، مرسيدس بنز، نيسان، بيجو، بورش، رينو، سمارت، تسلا، فولسفاغن، وسواها من الشركات المصنِّعة التي لا يمكن إحصاؤها كلها، بما في ذلك شركات مصنِّعة في الصين والهند. فأنا أملك سيارة تعمل على الطاقة الكهربائية وأحبها كثيرًا.

على الرغم من أنّ المركبات الكهربائية كانت أغلى ثمنًا بكثير من نظيرتها التي تعمل على الوقود، وما تزال الخيار الأعلى سعرًا، تراجع الفرق بشكل ملحوظ في السنوات الأخيرة. ومردّ ذلك إلى الانخفاض الهائل في تكلفة البطاريات بنسبة 87 % منذ العام 2010، بالإضافة إلى الإعفاءات الضريبية المختلفة والتعهّدات الحكومية ببلوغ نقطة الصفر على مستوى الانبعاثات الناجمة عن المركبات على الطرق. ومع ذلك، تعتبر العلاوة الخضراء الخاصة بالسيارات الكهربائية زهيدة.

فلنأخذ على سبيل المثال سيارتين من صنع شيفروليه: سيارة شيفروليه ماليبو التي تعمل على الوقود وشيفروليه بولت EV التي تعمل على الكهرباء.

ماليبو،

بدءًا من 23,400 دولارًا أميركيًّا



ميل لكل غالون: 29 في المدينة/36 على الطريق السريع

الحمولة: 15.7 قدم مكعب

القوة الحصانية: 250

بولت EV

بدءًا من 31,500 دولارًا أميركيًّا



المدى: 259 ميلًا

الحمولة: 57 قدم مكعب

القوة الحصانية: 200

شيفروليه مقابل شيفروليه. سيارة ماليبو التي تعمل على الوقود وسيارة بولت EV التي تعمل على الكهرباء بشكلٍ كامل. (شيفروليه)

تعتبر هذه الميزات قابلة للمقارنة نسبيًا في ما يتعلّق بقوة المحرّك، وحجم المساحة المخصّصة للركاب، وإلى ما هنالك. وفي حين أنّ ثمن سيارة البولت أغلى بمعدل 8,100 دولار أميركي (قبل طرح التحفيزات الضريبية التي من شأنها خفض السعر)، لا يمكن البحث في العلاوة الخضراء بالاستناد إلى ثمن شراء السيارة فحسب. فالمهم ليس تكلفة شراء السيارة ولكن التكلفة الإجمالية لشراء وامتلاك السيارة. يجب أن نضع بالاعتبار أنّ السيارات الكهربائية لا تحتاج مثلًا إلى كثير من الصيانة، كما تعمل على الكهرباء بدلًا من الوقود. من جهة أخرى، سيترتّب عليك دفع مبلغ أكبر لتأمين السيارة الكهربائية لأنها أغلى ثمنًا.

عند مراعاة هذه الاختلافات كلها والنظر في الكلفة الإجمالية للملكية، ستكون كلفة سيارة البولت أعلى بعشر سنتات لكلّ ميل مقارنة بسيارة الماليبو.

ماذا تعني العشرة سنتات لكلّ ميل؟ إذا كان عدد الأميال التي تقطعها في السنة يبلغ 12 ألفًا، فذلك يعني علاوة سنوية توازي 1,200 دولار، وهو مبلغ ليس ضئيلًا، ولكنه منخفض بما يكفي ليجعل من السيارة الكهربائية خيارًا منطقيًا لكثير من الأشخاص الراغبين في شراء سيارة.

لا بُدَّ من الإشارة إلى أنه المتوسّط الوطني في الولايات المتحدة، ومن الممكن أن تختلف العلاوة الخضراء في دول أخرى، بحيث يشكّل الفرق بين تكلفة الكهرباء وتكلفة الوقود العامل الرئيس. (تُسهم الكهرباء الميسورة التكلفة أو الوقود الأغلى ثمنًا في خفض العلاوة الخضراء). ففي بعض الدول الأوروبية حيث أسعار الوقود مرتفعة جدًا، بلغت العلاوات الخضراء للعربات الكهربائية نقطة الصفر. وتشهد أيضًا أسعار البطاريات في الولايات المتحدة

انخفاضًا مستمرًا، وأتوقّع أن تبلغ العلاوات الخضراء لمعظم السيارات نقطة الصفر بحلول عام 2030.

إنها أخبار جيدة، وتعزّز إمكانية انتشار السيارات الكهربائية على الطرق خاصة بعد أن أصبحت أسعارها معقولة أكثر. (سأتحدّث بشكل مفصّل عن كيفية تحقيق ذلك في الجزء الأخير من هذا الفصل). ولكن بحلول العام 2030، من الممكن أن نشهد أيضًا ظهور بعض السلبيات لجهة استعمال السيارات الكهربائية مقارنة بالسيارات التي تعمل على الوقود.

أذكر من هذه السلبيات الاختلاف الكبير في أسعار الوقود، بحيث أن السيارات الكهربائية لا تعتبر الخيار الأرخص ثمنًا إلَّا في حال جاوزت أسعار الوقود مستوى معينًا. ففي أيار/مايو 2020، انخفض متوسّط سعر الوقود في الولايات المتحدة إلى ما دون 1.77 دولارًا أميركيًا لكل غالون؛ من الصعب على السيارات الكهربائية المنافسة عندما يكون سعر الوقود زهيدًا إلى هذا الحدّ، لاسيّما وأنّ أسعار البطاريات مرتفعة. ففي ظل الأسعار الحالية للبطاريات، لا يمكن لمالكي السيارات الكهربائية توفير المال إلَّا في حال جاوز سعر الوقود 3 دولارات لكل غالون.

من السلبيات الأخرى عملية شحن السيارة الكهربائية التي يمكن أن تستغرق ساعة أو أكثر في حين أنّ ملء خزان الوقود يتطلّب أقل من خمس دقائق. كما وأنّ استخدامها لاجتناب الانبعاثات الكربونية لا يجدي نفعًا إلَّا في حال شحنها من مصادر لتوليد الطاقة خالية من الكربون. إنه سبب آخر يؤكّد على أهمية الاختراعات التي أشرت إليها في الفصل الرابع. في حال كنا نستخدم الفحم لتوليد الطاقة وقمنا بعدها بشحن سياراتنا الكهربائية من

الطاقة الكهربائية المولَّدة عبر إحراق الفحم، سنكون قد استبدلنا أحد أنواع الوقود الأحفوري بآخر.

وتتطلّب عملية التخلّص من كلّ السيارات التي تعمل على الوقود وقتًا طويلًا. في المتوسّط، يمكن استخدام السيارة بعد خروجها من خط التجميع، لأكثر من 13 سنة قبل أن تبلغ مثواها الأخير في باحة الخردة. فدورة حياتها الطويلة تدلّ على أنّ نسبة مبيعات السيارات الكهربائية يجب أن تصل إلى 100 % في غضون السنوات الخمس عشرة المقبلة إذا ما أردنا أن تصبح مركبات الركاب كافة في أميركا تعمل على الكهرباء بحلول العام 2050. غير أنّ نسبة المبيعات حاليًا أقل من 3 %.

كما ذكرتُ سابقًا، يمكن الوصول إلى نقطة الصفر باستخدام الوقود البديل السائل الذي يعتمد على الكربون المتوافر في الغلاف الجوي. فعند إحراق هذا الوقود، لا نضيف مزيدًا من الكربون إلى الهواء، بل نعيد كمية الكربون نفسها إلى حيثما كانت موجودة عند تصنيع الوقود.

عندما تقرأ عبارة «الوقود البديل»، من الممكن أن يخطر على بالك الإيثانول، وهو عبارة عن وقود حيوي مصنوع من الذرة، قصب السكّر أو الشمندر السكّري. في حال كنت مقيمًا في الولايات المتحدة، فذلك يعني أنه من الممكن أن تكون سيارتك تعمل على الوقود الحيوي، لاسيّما وأنّ معظم الوقود المباع في الولايات المتحدة يحتوي على 10 % من الإيثانول المصنوع فعليًا من الذرة. تتوافر في البرازيل سيارات تعمل كليًا بوساطة الإيثانول المصنوع من قصب السكّر، في حين أنّ عدد الدول التي تستخدم هذا النوع من الوقود ضئيل جدًا.

تكمن المشكلة الأساسية في أنّ الإيثانول المصنوع من الذرة ليس خاليًا كليًا من الكربون، بحيث من الممكن ألَّا يكون منخفض الكربون حتى بحسب كيفية صناعته. فزراعة المحاصيل تتطلّب استخدام الأسمدة، كما تتسبّب عملية التكرير، عند تحويل النباتات إلى وقود، في إطلاق الانبعاثات أيضًا. وتتطلّب زراعة المحاصيل للحصول على الوقود توافر الأراضي التي كان من الممكن استخدامها للزراعة الغذائية، ما يعني أنّ المزارعين قد يضطرون إلى قطع الغابات لتأمين المساحة اللازمة لزراعة المحاصيل الغذائية.

ومع ذلك، لا يمكن وصف الوقود البديل على أنه قضية خاسرة. إذ تتوافر أنواع متقدّمة من الوقود الحيوي من الجيل الثاني لا تسبّب أيّ مشكلات شبيهة بتلك المرتبطة بالأنواع التقليدية، أنواع يمكن أن تكون مصنوعة من النباتات التي تُزرع ليس بغرض استخدامها كغذاء، إلَّا في حال كنت من المولعين بتناول سلطة عشب النجيل، أو بترسّبات الزراعة (كسيقان الذرة)، وبقايا المنتجات الجانبية من صناعة الورق، وحتى نفايات المأكولات والحدائق المنزلية. وبما أنّ المحاصيل المقصودة ليست غذائية، فذلك يعني أنّ كمية الأسمدة التي تحتاج إليها ضئيلة جدًا أو منعدمة، وزراعتها تقتضي عدم استنفاد الأراضي الزراعية المخصّصة لتوفير الغذاء للناس والحيوان.

تُعرف بعض أنواع الوقود الحيوي بحسب الخبراء بالوقود «المنسدل»، أو الوقود القابل للاستخدام (أو الإسقاط) في المحرّكات التقليدية من دون تعديله. تتمثّل إحدى الفوائد المترتّبة عن استخدام هذه الأنواع من الوقود في إمكانية نقلها عبر الصهاريج، والأنابيب والبنى التحتية الأخرى التي أنفقنا المليارات من الدولارات لبنائها وصيانتها.

وفي حين أنّ الوقود الحيوي يُعدّ من المجالات الصعبة، إلَّا أنني متفائل بشأنه. فقد مررت بتجربة على المستوى الشخصي تظهر مدى صعوبة التوصّل إلى اختراقات جديدة. فلبضع سنوات خلت، بلغني أنّ إحدى الشركات الأميركية تستخدم عملية ابتكارية لتحويل الكتل الأحيائية ومنها الأشجار إلى وقود. فقصدت الشركة المذكورة وذهلت بما رأيته، وقرّرت بعد إجراء العناية الواجبة استثمار 50 مليون دولار أميركي في الشركة. غير أنّ تقنيتها لم تحقّق النجاح المطلوب، بحيث واجهت تحديات تقنية كثيرة، خاصة لجهة عجز الشركة عن توفير الكمية التي تحتاج إليها لاعتبار التقنية اقتصادية، ما دفعها إلى إقفال أبوابها في نهاية المطاف. صحيح أنني خسرت 50 مليون دولار، إلَّا أنني لست آسفًا على ذلك. إذ لا بُدّ من دعم الأفكار الجديدة كافة حتى وإن كنا ندرك بأن كثيرًا منها سيفشل.

يؤسفني القول إنّ البحوث حول الأنواع المتقدّمة من الوقود الحيوي تفتقر إلى التمويل اللازم، وليست جاهزة بعد للنشر على النطاق الذي نحتاج إليه لإزالة الكربون من أنظمة النقل لدينا. ما يعني أنّ تكلفة استخدامها بدلًا من البنزين ستكون باهظة. وفي حين أنّ الخبراء لم يتمكنوا من التوصل بعد إلى اتفاق بشأن تكلفتها الصحيحة وتكلفة الأنواع الأخرى من الوقود النظيف، تتوافر مجموعة من التقديرات، وسأعتمد بالتالي على متوسّط التكاليف المستمدة من دراسات مختلفة.

العلاوة الخضراء لاستبدال الوقود الحيوي بالبنزين المتقدّم

نوع الوقود	سعر التجزئة لكل غالون	الخيار الخالي من الكربون لكل غالون	العلاوة الخضراء
بنزين	2.43 د.أ.	5 د.أ. الوقود الحيوي المتقدّم	106 %

ملاحظة: تمثل أسعار التجزئة في هذا الجدول وفي الرسوم البيانية اللاحقة السعر الوسطي في الولايات المتحدة ما بين العامين 2015 و2018. تعكس الخيارات الخالية من الكربون الأسعار الحالية المقدّرة.

يستمدّ الوقود الحيوي الطاقة من النباتات، غير أنّ صناعة الوقود البديل لا تقتصر على النباتات. إذ يمكن أن نستخدم الطاقة الكهربائية الخالية من الكربون لمزج الهيدروجين المتوافر في المياه مع الكربون المتوافر في ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي نحصل على وقود هيدروكربوني. يُعرف هذا الوقود الذي تتطلّب صناعته استخدام الطاقة الكهربائية، بالوقود الكهربائي، وينطوي على كثير من الإيجابيات. فهو مصنَّف ضمن أنواع الوقود المنسدل، وإحراقه لا يُسهم بمزيدٍ من الانبعاثات الإجمالية لكونه مصنوعًا من ثاني أكسيد الكربون الملتقط من الغلاف الجوي.

وللوقود الكهربائي جانب سلبي يتمثّل في غلائه. فتصنيعه يتطلّب توافر الهيدروجين، وتكلفة تصنيع الهيدروجين من دون انبعاثات كربونية مرتفعة نسبيًا، كما سبق وذكرت في الفصل الرابع. كما ينبغي تصنيعه بوساطة الكهرباء النظيفة للحصول على النتيجة المرجوّة، والكهرباء النظيفة والميسورة التكلفة غير متوافرة بشكل كافٍ في شبكات الطاقة المحلية لنتمكّن من استخدامها بشكل اقتصادي لتصنيع الوقود. ما يُسهم في زيادة العلاوة الخضراء العائدة للوقود الكهربائي: علاوات خضراء لاستعمال بدائل خالية من الكربون بدلًا من البنزين

نوع الوقود	سعر التجزئة لكل غالون	الخيار الخالي من الكربون لكل غالون	العلاوة الخضراء
بنزين	2.43 د.أ.	5 د.أ. (الوقود الحيوي المتقدم)	106 %
بنزين	2.43 د.أ.	8.20 د.أ. (الوقود الكهربائي)	237 %

ماذا يعني ذلك بالنسبة إلى الأسرة المتوسّطة الدخل؟ في الولايات المتحدة، تنفق الأسرة النموذجية ما يقرب من 2000 دولار أميركي سنويًا على الوقود. في حال تضاعُف الأسعار، سيترتّب على ذلك علاوة إضافية بقيمة 2000 دولار أميركي، وفي حال تضاعفت ثلاث مرات سيترتّب على ذلك 4000 دولار إضافية لكل مركبة تقليدية تسير على الطرق في أميركا.

شاحنات جمع النفايات، الحافلات والمركبات المجهزة بثماني عشرة عجلة. من المؤسف أنّ البطاريات لا تُعدّ من الخيارات العملية في ما يتعلّق بالحافلات والشاحنات المخصّصة للمسافات البعيدة. فاستخدام الطاقة الكهربائية لشحن المحرّكات، يصبح أكثر صعوبة كلما زاد حجم المركبة التي ترغب في استخدامها وبُعد المسافة التي تنوي قطعها. ومردّ ذلك إلى كون البطاريات ثقيلة الوزن، ولا تخزِّن سوى كمية محدودة من الطاقة، كما لا تزوِّد المحرّك إلَّا بنسبة معينة من هذه الطاقة في آن. (إنّ تشغيل شاحنة من الوزن الثقيل يتطلّب محرّكًا قويًا مزودًا بعدد أكبر من البطاريات، مقارنة بتشغيل سيارة هاتشباك الخفيفة الوزن).

تعتبر المركبات الخفيفة الوزن، كشاحنات جمع النفايات والحافلات المخصّصة للمدن، خفيفة الوزن بما يكفي، بحيث تعدّ الطاقة الكهربائية من الخيارات القابلة للتطبيق بالنسبة إليها. كما تتّسم بقصر المسافات التي تقطعها نسبيًا وإمكانية ركنها في المكان نفسه كلّ مساء، ما يسهّل عملية إنشاء محطات للشحن مخصّصة لها. تمكّنت مدينة شينزين في الصين، حيث يقيم 12 مليون نسمة، من تحويل أسطولها المؤلَّف من 16 ألف حافلة وما يقرب من ثلثي سيارات التاكسي إلى مركبات تعمل على الكهرباء. وبالنظر إلى حجم الحافلات الكهربائية التي تباع في الصين، أظنّ أنّ العلاوة الخضراء

للحافلات ستبلغ نقطة الصفر في غضون عقد واحد فقط، ما يعني أن معظم المدن في العالم ستتمكّن من تحويل أساطيلها.



مدينة شينزين في الصين، التي تمكّنت من تشغيل أسطولها المؤلَّف من 16 ألف حافلة على الكهرباء.

ولكنّ إضافة مزيد من المسافات والطاقة، والقيام مثلًا برحلة عبر البلاد في عربة مجهزة بثماني عشرة عجلة محملة بالبضائع، بدلًا من قيادة حافلة مدرسية على متنها عدد من التلاميذ على إحدى الطرقات في الحي، يتطلّب تحميل مزيد من البطاريات. ومع إضافة مزيد من البطاريات، سيتضاعف الوزن، ويصبح ثقيلًا جدًا.

على سبيل التناسب، يمكن لأفضل أنواع بطاريات أيون الليثيوم تخزين كمية من الطاقة أقل 35 مرة من البنزين. بعبارة أخرى، للحصول على كمية

الطاقة التي يوفّرها كلّ غالون من الوقود، نحتاج إلى بطاريات تزن 35 مرة أكثر من الوقود.

سأشرح بالتفصيل ما يعني ذلك من الناحية العملية. بالاستناد إلى دراسة أجراها مهندسان ميكانيكيان من جامعة كارنيغي ميلون في العام 2017، تحتاج الشاحنة الكهربائية إلى عدد كبير من البطاريات لتتمكّن من أن تقطع 600 ميلٍ في حال شحنها لمرة واحدة، بحيث عليها التخلّص من 25 % من حمولتها. ومن المستحيل أن تتمكّن من قطع 900 ميلٍ، لأنها ستحتاج إلى عدد أكبر بعد من البطاريات ولن تتمكّن بالتالي من نقل أيّ بضائع على الإطلاق.

عليك أن تضع بالاعتبار أنّ الشاحنة النموذجية التي تسير على الديزل تستطيع أن تقطع أكثر من 1000 ميل من دون إعادة التزوّد بالوقود. ولتتمكّن الشركات في أميركا من تشغيل أساطيل شاحناتها على الكهرباء، عليها أن تختار مركبات ذات حمولة محدودة، مركبات بوسعها التوقّف بشكل متكرّر للشحن بالكهرباء، وتخصيص ساعات من الوقت للشحن، واجتياز مسافات طويلة على الطريق السريعة حيث لا تتوافر محطات إعادة الشحن. لا أظن أنّ ذلك قد يحصل في المستقبل القريب. فالكهرباء، التي تعتبر من الخيارات الجيدة للمركبات التي تقطع مسافات قصيرة، ليست حلًا عمليًا للشاحنات الثقيلة المخصّصة للمسافات الطويلة.

وفي ظلّ عجزنا عن تشغيل الشاحنات على الكهرباء، يكمن الحل الوحيد المتوافر حاليًا في استخدام الوقود الكهربائي والوقود الحيوي المتقدّم. والمؤسف في الأمر هو أنّ هذه الأنواع من الوقود ترتبط بعلاوات خضراء مرتفعة بشكل درامي، وسأضيفها إلى الرسم البياني: علاوات خضراء لاستعمال بدائل خالية من الكربون بدلًا من الديزل

نوع الوقود	سعر التجزئة لكل غالون	الخيار الخالي من الكربون لكل غالون	العلاوة الخضراء
ديزل	2.71 د.أ.	الوقود الحيوي المتقدم 5.50 د.أ.	103 %
ديزل	2.71 د.أ.	الوقود الكهربائي 9.05 د.أ.	234 %

السفن والطائرات. منذ فترة قريبة، كنت أتحدّث مع صديقي وارن بافيت عمّا إذا كان من الممكن أن ينجح العالم في التخلّص من الانبعاثات الكربونية الناجمة عن الطائرات. سألني وارن: «لماذا لا نستطيع تشغيل طائرة نفاثة على البطاريات؟». كان وارن يدرك تمامًا بأنه عند إقلاع الطائرة النفاثة، يشكّل الوقود الذي تحمله على متنها 20 % إلى 40 من وزنها. ما يعني أنه لم يفاجأ أبدًا عندما قلت له إننا نحتاج إلى استخدام عدد كبير من البطاريات بزنة أكثر ب 35 مرة لنتمكّن من تأمين كمية الطاقة نفسها التي يوفّرها وقود الطائرات. وكلّما دعت الحاجة إلى توفير مزيد من الطاقة، ازداد وزن الطائرة، بحيث أنّها قد تصبح ثقيلة جدًا ولن تتمكّن من الإقلاع. فابتسم وارن وأومأ برأسه قائلًا: «أوه».

فعند محاولة تشغيل مركبة ثقيلة كالسفينة الحاوية أو الطائرة النفاثة، تتحوّل القاعدة المبنية على التجربة التي ذكرتها سابقًا، والتي تقضي بأن استخدام الطاقة الكهربائية لشحن المحرّكات يصبح أكثر صعوبة كلما زاد حجم المركبة التي ترغب في استعمالها، إلى قانون. وباستثناء بعض الاختراقات البعيدة الاحتمال، لن تكون البطاريات خفيفة الوزن وفعّالة بما يكفي لتشغيل الطائرات والسفن إلّا لمسافات قصيرة.

ضع بالاعتبار مستوى التقدّم الجاري. يمكن لأفضل طائرة كهربائية متوافرة في السوق نقل راكبين، والطيران بسرعة 210 أميال في الساعة ولمدّة ثلاث ساعات قبل إعادة شحنها[(17)*]. في المقابل، يمكن لطائرة البوينغ 787 المتوسطة الطاقة الاستيعابية نقل 296 راكبًا، والطيران بسرعة 650 ميلًا في الساعة لمدة 20 ساعة تقريبًا قبل أن تتوقّف للتزوُّد بالوقود. بعبارة أخرى، يمكن للطائرة النفاثة التي تعمل بالوقود الأحفوري الطيران ثلاث مرات أسرع، ولمسافة ست مرات أطول ونقل عدد من الركاب أكثر بـ 150 مرّة من أفضل طائرة كهربائية متوافرة في السوق.

في حين أنّ البطاريات تشهد تطوّرًا لافتًا، من الصعب أن ندرك ما إذا كان من الممكن سدّ هذه الثغرة. في حال حالفنا الحظ، من الممكن أن تزداد كثافة الطاقة فيها ثلاثة أضعاف عمّا هي عليه اليوم، ولكنّ كثافة الطاقة فيها ستبقى في هذه الحالة أقل بـ 12 مرة من البنزين أو وقود الطائرات. ويتمثّل الرهان الأفضل في استبدال الوقود الكهربائي أو الوقود الحيوي بوقود الطائرات، ولكن لا بُدّ من إلقاء نظرة على العلاوات الضخمة المتّصلة بها:

علاوات خضراء لاستبدال بدائل خالية من الكربون بوقود الطائرات

نوع الوقود	سعر التجزئة لكل غالون	الخيار الخالي من الكربون لكل غالون	العلاوة الخضراء
وقود الطائرات	2.22 د.أ.	5.35 د.أ. الوقود الحيوي المتقدم	141 %
وقود الطائرات	2.22 د.أ.	8.80 د.أ. الوقود الكهربائي	296 %

ينطبق الأمر نفسه على سفن الحاويات، بحيث أنّ قدرة سفن الحاويات التقليدية على الشحن هي 200 مرة أكثر من كلٍّ من السفن الكهربائية التي بدأ تشغيلها حاليًا، ويمكنها أن تبحر لمسافات أطول بـ 400 مرة. هذه هي الميزات الأساسية للسفن التي تحتاج إلى عبور المحيطات كافة.

في ظلّ الأهمية التي اكتسبتها سفن الحاويات في الاقتصاد العالمي، لا أظن أنه من الممكن من الناحية الاقتصادية تشغيلها بوساطة أيّ مادة أخرى سوى الوقود السائل. صحيح أنّ التحوّل إلى البدائل سيعود علينا بكثيرٍ من الفوائد، لاسيّما وأنّ الشحن يُسهم بنسبة 3 % من الانبعاثات كافة، ما يعني أنّ استخدام الوقود النظيف سيؤدّي إلى انخفاض لافت؛ ولكنّ الوقود المستخدم لتشغيل سفن الحاويات والمعروف بزيت الوقود هو ولسوء الحظ بخس الثمن لأنه مصنوع من الأجزاء الناتجة عن عملية تقطير النفط. وبما أنّ الوقود المستخدم حاليًا لتشغيلها ليس مرتفع الثمن، تُعدّ العلاوات الخضراء المتّصلة بالسفن باهظة جدًا: **علاوات خضراء لاستبدال بدائل خالية من الكربون بزيت الوقود**

نوع الوقود	سعر التجزئة لكل غالون	الخيار الخالي من الكربون لكل غالون	العلاوة الخضراء
زيت الوقود	1.29 د.أ.	5.50 د.أ. الوقود الحيوي المتقدم	326 %
زيت الوقود	1.29 د.أ.	9.05 د.أ. الوقود الكهربائي	601 %

في ما يلي عرض موجز للعلاوات الخضراء التي تطرّقنا إليها في هذا الفصل:

علاوات خضراء لاستبدال بدائل خالية من الكربون بزيت الوقود

نوع الوقود	سعر التجزئة لكل غالون	الخيار الخالي من الكربون لكل غالون	العلاوة الخضراء
بنزين	2.43 د.أ.	5 د.أ. (الوقود الحيوي المتقدّم)	106 %
بنزين	2.43 د.أ.	8.20 د.أ. (الوقود الكهربائي)	237 %
ديزل	2.71 د.أ.	5.50 د.أ. (الوقود الحيوي المتقدم)	103 %
ديزل	2.71 د.أ.	9.05 د.أ. (الوقود الكهربائي)	234 %
وقود الطائرات	2.22 د.أ.	5.35 د.أ. (الوقود الحيوي المتقدم)	141 %
وقود الطائرات	2.22 د.أ.	8.80 د.أ. (الوقود الكهربائي)	296 %
زيت الوقود	1.29 د.أ.	5.50 د.أ. (الوقود الحيوي المتقدم)	326 %

زيت الوقود	1.29 د.أ.	9.05 د.أ. (الوقود الكهربائي)	601 %

هل يمكن أن يتقبّل معظم الناس هذا الارتفاع؟ الإجابة ليست واضحةً. ولكن إذا ما افترضنا بأنّ الولايات المتحدة قد أقرّت للمرّة الأخيرة زيادة على الضرائب الفدرالية الخاصة بالوقود، أو لم تفعل على الإطلاق، لربع قرن مضى، في العام 1993، فلا أظن أن الأميركيين على استعداد لدفع المزيد مقابل الوقود.

على مستوى قطاع النقل، تتوافر أربع وسائل رئيسة لخفض الانبعاثات. تتمثّل الوسيلة الأولى في التخفيف من التنقّلات بالسيارات، والطائرات والسفن، بحيث يمكن تشجيع الناس على استخدام الوسائل البديلة كالمشي، ركوب الدراجات الهوائية، وتطبيق نظام المشاركة في السيارات. ولحسن الحظ أنّ بعض المدن تعتمد على خطط حضرية ذكية لتحقيق ذلك.

تتمثّل الوسيلة الثانية لخفض الانبعاثات في الحدّ من استخدام المواد المكثِّفة للكربون في صناعة السيارات مثلًا، على الرغم من أنّ ذلك لن يؤثّر كثيرًا على الانبعاثات المترتّبة عن الوقود الأحفوري التي تحدّثنا عنها في هذا الفصل. وكما ذكرت في الفصل الخامس، تُصنع السيارات من مواد كالبلاستيك والفولاذ التي لا يمكن تصنيعها من دون التسبّب بانبعاث غازات الاحتباس الحراري. في حال تراجع الحاجة إلى هذه المواد لتصنيع سياراتنا، ستنخفض نسبة بصمتها الكربونية.

تقضي الوسيلة الثالثة للحدّ من الانبعاثات في استخدام الوقود بكفاءة. حظي هذا الموضوع باهتمام كبير من المشرّعين والصحافة، لكونه يرتبط على الأقل بمركبات الركاب والشاحنات: فمعظم الأنظمة الاقتصادية الرئيسة تلتزم

معايير لاستخدام الوقود بكفاءة لجهة هذه المركبات، وحقّقت فرقًا كبيرًا عبر إرغام المركبات على تمويل الهندسة المتقدّمة للمحرّكات الأكثر كفاءة.

غير أنّ تلك المعايير لم تأخذ حقها بما فيه الكفاية. فقد اقتُرحت مثلًا معايير للانبعاثات المترتّبة عن النقل البري والجوي، إلَّا أنها غير قابلة للتطبيق. فما هي السلطة القضائية التي بإمكانها تغطية الانبعاثات الكربونية من سفينة حاويات في وسط المحيط الأطلسي؟

وعلى الرغم من أنّ صناعة المركبات الأكثر كفاءة واستعمالها تمثّل خطوة مهمة في الاتجاه الصحيح، إلَّا أنها لن تمكّننا من بلوغ نقطة الصفر. فإحراق كمية أقل من البنزين، لا يعني التوقف كليًا عن إحراق البنزين.

ما يقودني إلى الوسيلة الرابعة والأكثر فعالية لبلوغ نقطة الصفر على مستوى الانبعاثات في قطاع النقل: التحوّل إلى المركبات الكهربائية والوقود البديل. وكما ذكرت في سياق هذا الفصل، ينطوي حاليًا كلّ من الخيارين على علاوة خضراء بدرجات متفاوتة. فلنبحث معًا في الطرق الملائمة لخفضها.

كيفية خفض العلاوة الخضراء

في ما يخصّ مركبات الركاب، بدأت العلاوة الخضراء بالانخفاض ومن المتوقّع أن تستمرّ في التقلّص إلى أن تبلغ نقطة الصفر. لا شك أنّ إحلال المركبات التي تقطع مسافات طويلة، والسيارات الكهربائية، محلّ السيارات المستخدمة حاليًا، سيؤدي إلى تراجع إيرادات ضرائب الوقود، وبالتالي إلى تراجع التمويل لبناء الطرقات وصيانتها. يمكن للولايات أن تعوّض عن الإيرادات الضائعة عبر فرض رسوم إضافية على مالكي السيارات الكهربائية عند تجديد لوحات التسجيل، مع الإشارة إلى أنّ 19 ولاية باشرت باعتماد هذه

الآلية في أثناء كتابتي هذا الفصل، ما يعني أنّ السيارات الكهربائية لن تصبح ميسورة التكلفة بقدر السيارات التي تعمل على البنزين إلَّا بعد مرور سنة أو سنتين.

وتواجه السيارات الكهربائية رياحًا معاكسة تتمثّل في ولع أميركا بالشاحنات الكبيرة التي تستهلك كمية هائلة من الوقود. في العام 2021، اشترينا ما يزيد عن 3 ملايين سيارة و12 مليون شاحنة وسيارة رياضية متعدّدة الأغراض، بحيث أنّ 3 % فقط من هذه المركبات لا يعمل بالوقود.

في سبيل تغيير مسار الأمور، نحتاج إلى سياسات حكومية مبتكرة. بوسعنا تسريع عملية الانتقال عبر اعتماد سياسات تشجّع الناس على سيارات كهربائية وإنشاء شبكة من محطات الشحن بحيث يكون امتلاكها أكثر عملية. وتُسهم الالتزامات على المستوى الوطني في زيادة نسبة توريد المركبات وخفض تكلفتها: فالصين، والهند وعدد من الدول الأوروبية قد أعلنت عن أهدافها المتمثّلة في التخلّص تدريجًا من السيارات التي تعمل بالوقود الأحفوري، وخاصة مركبات الركاب، في خلال العقود المقبلة. هذا وتعهّدت كاليفورنيا بألَّا تشتري سوى الحافلات الكهربائية بحلول العام 2029 ومنع بيع السيارات التي تعمل بالبنزين بحلول العام 2035.

ويتطلّب تسيير كلّ هذه السيارات الكهربائية على الطرق كمية ضخمة من الكهرباء النظيفة، ما يعني أن من المهم بمكان نشر مصادر الطاقة المتجدّدة والسير قُدُمًا في تحقيق اختراقات على مستوى التوليد والتخزين، كما أشرت في الفصل الرابع.

علينا أيضًا البحث في إمكانية استخدام سفن الحاويات التي تعمل بالطاقة النووية، حيث تعتبر المخاطر فعلية (يجب التأكّد مثلًا من عدم إطلاق

الوقود النووي في حال غرق السفينة)، ولكنّ تحديات تقنية عدّة قد حُلّت بالفعل. في مطلق الأحوال، بدأ فعليًا تشغيل الغواصات الحربية وحاملات الطائرات بالطاقة النووية.

وفي الختام، نحتاج إلى جهود مكثّفة للبحث في الوسائل الممكنة كافة لتصنيع الوقود الحيوي المتقدّم والوقود الكهربائي الزهيد الثمن. فالشركات والباحثون يجرون دراسة حول المسارات المختلفة، ومنها على سبيل المثال الطرق الجديدة لتصنيع الهيدروجين باستخدام الكهرباء، أو الطاقة الشمسية أو الكائنات الحية الدقيقة التي تنتج الهيدروجين بشكل طبيعي باعتباره منتجًا ثانويًا. ومع تكثيف حجم البحوث، ترتفع فرص التوصّل إلى اختراقات جديدة.

من النادر جدًا أن يتمكّن المرء من اختصار الحلّ لمسألة معقدّة إلى هذا الحدّ بجملة واحدة. ولكن على مستوى وسائل النقل، يمكن اختصار عملية الوصول إلى نقطة الصفر بهذه العبارة: استخدام الطاقة الكهربائية لتشغيل أكبر قدر ممكن من المركبات واستعمال بدائل الوقود الميسورة التكلفة للمركبات الباقية.

تشمل المجموعة الأولى عربات الركاب، الشاحنات، الشاحنات الخفيفة والمتوسّطة، والحافلات. أما المجموعة الثانية، فتشمل الشاحنات المخصّصة للمسافات الطويلة، القطارات، الطائرات وسفن الحاويات. في ما يتعلّق بالتكلفة، من المتوقّع أن تنخفض أسعار عربات الركاب التي تعمل بالكهرباء مقارنة بتلك التي تعمل بالغاز، ما يعتبر أمرًا جيدًا. ولكن بدائل الوقود ما تزال مرتفعة الثمن، وهذا أمر غير جيد، لأننا في حاجة إلى الابتكار لنتمكن من خفض أسعارها.

تناولنا في هذا الفصل كيفية نقل الأشخاص والسلع من مكان إلى آخر، وسنتحدّث في الفصل التالي عن الأماكن التي نقصدها، كمنازلنا، ومكاتبنا، ومدارسنا، وما يلزمنا لجعلها صالحة للعيش في عالم أكثر دفئًا.

<u>الفصل الثامن</u>

وسائل التدفئة والتبريد

7 % من 52 مليار طن سنويًا

لم أكن أتصوّر يومًا أنني قد أجد في الملاريا أيّ فائدة تُرجى، فهي مسؤولة عن وفاة 400 ألف شخص سنويًا، معظمهم من الأطفال، وتُسهم مؤسسة غيتس في الجهد العالمي المبذول للتخلّص منها. لذا، فوجئت كثيرًا عندما علمت منذ فترة وجيزة أنّ للملاريا جانبًا إيجابيًا بحيث أنها أسهمت في تطوير وسائل التكييف.

يحاول الإنسان التغلّب على الحر منذ آلاف السنين. فالأبنية في بلاد فارس القديمة كانت مزوّدة بملاقف أو بادكير لتسهيل حركة الهواء والحفاظ على البرودة. غير أنّ الآلة الأولى التي استخدمت لتوليد الهواء ظهرت في الأربعينيات من القرن التاسع عشر بفضل الاختراع الذي توصّل إليه جون غوري وهو طبيب من فلوريدا وجد أنّ درجات الحرارة الباردة من شأنها أن تساعد مرضاه على الشفاء من الملاريا.

في تلك الحقبة، كان كثيرون يعتقدون أنّ الملاريا هي مرض يسبّبه طفيلي، تمامًا كما هو معروف حاليًا، ولكنّ الطفيلي ناتج عن هواء سيّئ (واسمها مشتق من ذلك، مال = سيّئ، أريا= هواء). اخترع غوري جهازًا لتبريد الجناح المخصّص لمرضاه عبر تحريك الهواء فوق كتلة من الثلج متدلّية من السقف. ولكنّ الآلة كانت تعمل على إذابة الثلج بسرعة، والثلج باهظ الثمن لأنه يُنقل بحرًا من الشمال، لهذا صمّم غوري آلة لصنع الجليد بنفسه. ونال في نهاية المطاف براءة اختراع على آلة صنع الثلج، وتخلّى عن الطب ليتفرّغ لتسويق اختراعه. غير أنّ خططه التجارية لم تثبت نجاحها، بحيث واجه سلسلة من المصائب وتوفي معدمًا في العام 1855.

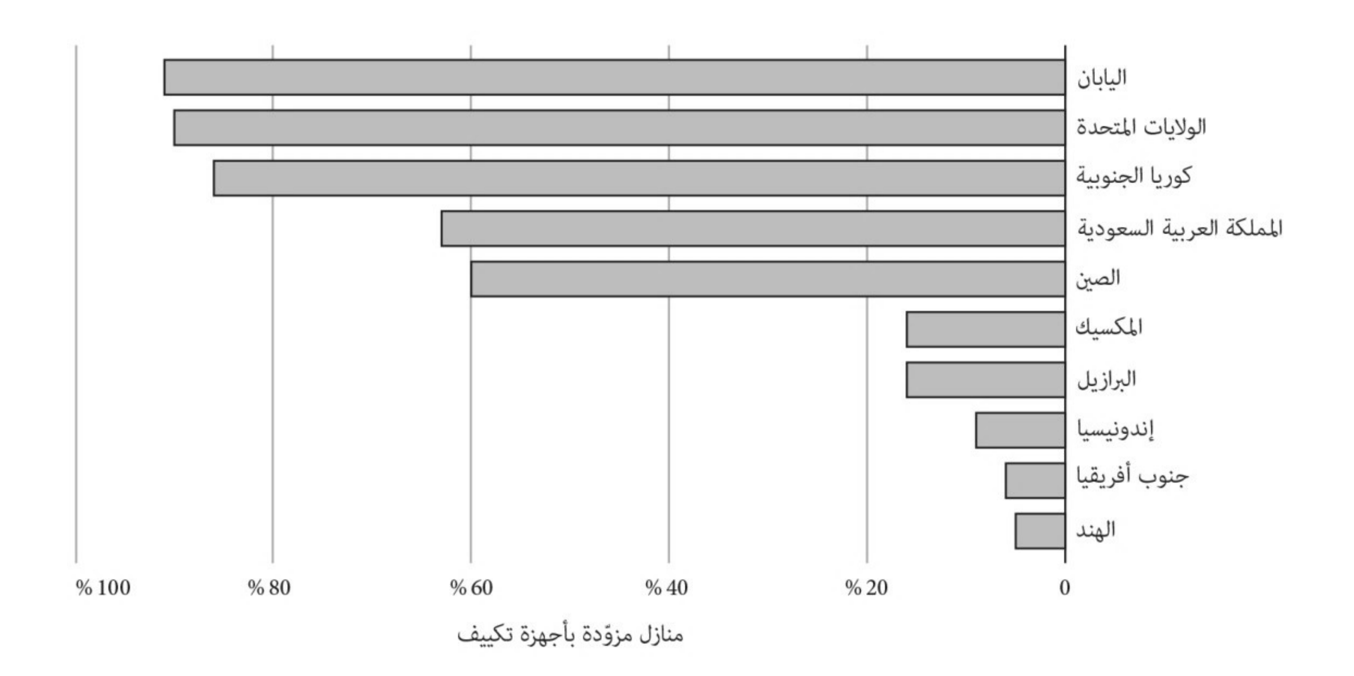
ولكنّ اختراعه بقي حيًا، وسُجِّل التطوّر التالي اللافت على مستوى التبريد في العام 1902 على يد مهندس يدعى ويليس كارير، عندما أرسله رب عمله إلى مطبعة في نيويورك لإيجاد طريقة تحول دون تجعّد صفحات المجلات لدى خروجها من آلة الطباعة. وإذْ تبيّن له أنّ سبب تجعّد الصفحات ناجم عن ارتفاع مستويات الرطوبة، اخترع كارير آلة لخفض الرطوبة إلى جانب خفض درجات الحرارة في الغرفة. ولم يكن يعلم يومها أنه قد أسهم في ولادة صناعة أجهزة التكييف.

بعد مرور ما يزيد على القرن منذ تركيب أوّل وحدة تكييف في منزل خاص، أصبح ما يقرب من 90 % من المنازل في أميركا يحتوي على أحد أنواع أجهزة التبريد والتكييف. في حال كنت من الأشخاص الذين يستمتعون بمشاهدة المباريات أو الحفلات الموسيقية في مدرج مقبّب، عليك أن تشكر أجهزة التبريد على ذلك. ومن الصعب اعتبار بعض المناطق مثل فلوريدا وأريزونا كوجهات مثيرة للمتقاعدين من دون توافر تلك الأجهزة.

لم يعدّ التكييف مجرّد ترف ممتع يساعد على تحمّل أيام الصيف الحارة، بل أصبح الاقتصاد المعاصر يعتمد عليه. في ما يلي مثال واحد بسيط على ذلك: إنّ مجموعات الخوادم التي تحتوي على آلاف أجهزة الكومبيوتر وتجعل إحراز التقدّم بصورة متواصلة في حقل الكومبيوتر ممكنًا (بما في ذلك تلك التي تشغّل الخدمات السحابية حيث تُخزَّن الموسيقا والصور)، تولّد كمية كبيرة من الحرارة. ومن الضروري أن تبقى تلك الخوادم مبرّدة وإلَّا قد تتعرّض للانصهار.

في حال كنت تعيش في منزل أميركي نموذجي، يعتبر جهاز التكييف المستهلِك الأكبر للطاقة، بحيث أن الكمية التي يستهلكها توازي تلك المستهلَكة من المصابيح، والثلاجة وجهاز الكومبيوتر مجتمعة [18]. تحدثت عن الانبعاثات المترتبة عن الطاقة الكهربائية في الفصل الرابع، ولكنني سأعود للتحدث عنها من جديد لأن تبريد الأماكن يعتبر من المساهمين الرئيسين، حاليًا وفي المستقبل. وعلى الرغم من أن أجهزة التبريد تحتاج إلى الكثير من *الكهرباء*، لا يمكن اعتبارها المستهلك الأكبر *للطاقة* في المنازل والشركات الأميركية. فهذا الشرف يعود إلى الأفران وأجهزة تسخين المياه (ينطبق ذلك أيضًا في أوروبا مناطق أخرى عدّة). سأعود للتحدّث عن تسخين الهواء والمياه في القسم التالي.

لا يمكن القول إنّ الأميركيين يحبّون تبريد الهواء ويحتاجون إليه خلافًا لسواهم. يبلغ عدد وحدات التبريد المستخدمة في العالم 1.6 مليار جهاز، غير أنها ليست موزّعة توزيعًا متساويًا. ففي الدول الثرية، كالولايات المتحدة، توجد أجهزة تبريد في حوالى 90 % أو أكثر من المنازل، في حين لا تُجاوز هذه النسبة 10 % في أكثر الدول حرًا.



أجهزة التبريد في تقدّم مستمر. توجد أجهزة تكييف في معظم المنازل في بعض الدول بينما استعمالها أقل شيوعًا في دول أخرى. من المتوقّع خلال العقود المقبلة أن تتمكّن الدول التي في أسفل الرسم البياني، أن ترتفع درجات الحرارة فيها أكثر وتزداد ثراءً في آن، ما يعني أنها ستلجأ إلى شراء مزيد من أجهزة التكييف وتشغيلها.

يعني ذلك أننا سنضطر إلى إضافة مزيد من الوحدات مع ارتفاع عدد السكان وازديادهم ثراءً وزيادة حدّة موجات الحر التي يُتوقّع أن تُمسي أكثر تواترًا. ما بين العامين 2007 و2017، أضافت الصين 350 مليون وحدة وهي اليوم أكبر سوق في العالم لأجهزة التكييف. وشهد العالم كلّه ارتفاعًا في المبيعات بنسبة 15 % في العام 2018 بحيث سُجِّلت أكبر نسبة زيادة في أربع دول حيث درجات الحرارة ترتفع بشكل لافت، وهي البرازيل، الهند، إندونيسيا والمكسيك. وبحلول العام 2050، يُتوقّع أن يبلغ عدد أجهزة التكييف الموضوعة قيد التشغيل في مختلف أنحاء العالم 5 مليارات وحدة.

ومن قبيل المفارقة أنّ الوسيلة الوحيدة التي من شأنها أن تساعدنا على تحمّل المناخ الحار والمتمثّلة في تشغيل أجهزة التكييف، يمكن أن تجعل التغيُّر المناخي أكثر سوءًا. فأجهزة التكييف تعمل بالكهرباء، وتركيب مزيد من

الوحدات يتطلّب توليد مزيد من الطاقة. في الواقع، توقّعت وكالة الطاقة الدولية أن يتضاعف الطلب العالمي على الكهرباء من أجل تشغيل وسائل التبريد ثلاثة أضعاف بحلول العام 2050. في هذه المرحلة، ستستهلك أجهزة التكييف كمية من الكهرباء توازي الكمية التي تستهلكها كلّ من الهند والصين حاليًا.

صحيح أنّ ذلك سيلقى ترحيبًا من الأشخاص الذين يعانون خلال موجات الحر، إلَّا أنّ تأثيره على المناخ سيكون سيئًا، لأنّ توليد الكهرباء في معظم أنحاء العالم يُعدّ من العمليات المتسبّبة في إطلاق كثيف للكربون. لهذا السبب، تعتبر الكهرباء المستخدمة في المباني لتشغيل أجهزة التكييف، والإنارة وأجهزة الكومبيوتر وسواها، مسؤولة عمّا يقرب من 14 % من مجمل غازات الاحتباس الحراري.

بالنظر إلى أنّ أجهزة التكييف تعتمد بشكل كبير على الكهرباء، من السهل حساب العلاوة الخضراء للتبريد. فإزالة الكربون من أجهزة التكييف يتطلّب إزالة الكربون من شبكات الطاقة. ما يعني أننا في حاجة إلى اختراقات على مستوى توليد وتخزين الكهرباء كتلك التي تحدّثت عنها في الفصل الرابع، وإلَّا ستستمر الانبعاثات في الارتفاع وسنجد أنفسنا عالقين في حلقة مفرغة عبر حرصنا على تبريد منازلنا ومكاتبنا تدريجًا مُسهمين بذلك في زيادة الاحترار تدريجًا أيضًا.

لحسن الحظ أننا لسنا مضطرين للانتظار ريثما تظهر تلك الاختراقات. إذ يمكننا المباشرة باتخاذ الخطوات اللازمة لخفض كمية الكهرباء التي نحتاج إليها لتشغيل المكيّفات وبالتالي خفض الانبعاثات المترتّبة عن التبريد. ولا يوجد أيّ عائق تقني يحول دون ذلك. فمعظم الناس لا يشترون أجهزة التكييف

الأكثر مراعاة لكفاءة استخدام الطاقة المتوافرة في الأسواق. بحسب وكالة الطاقة الدولية، لا تتخطى كفاءة جهاز التكييف النموذجي الذي يباع اليوم النصف مقارنة بالأجهزة المتوافرة على نطاق واسع، والثلث مقارنة بأفضل النماذج.

ومردّ ذلك إلى أنّ المستهلك لا يستطيع الوصول إلى كلّ المعلومات التي يحتاج إليها عند اختيار المكيّف. فالوحدة الأقل كفاءة قد تكون مثلًا أرخص ثمنًا عند شرائها، ولكنّ تشغيلها على المدى الطويل عالي التكلفة لأنها تستهلك مزيدًا من الطاقة. ومع ذلك، قد يكون من الصعب عليك أن تحدِّد ذلك عند الشراء في حال لم تكن البطاقات التعريفية للوحدات واضحة (تعتبر البطاقات التعريفية إلزامية في الولايات المتحدة ولكن ليس على المستوى العالمي). كما أنّ بلدانًا عديدة لا تحدّد معايير دنيا لكفاءة أجهزة التكييف. ووجدت وكالة الطاقة الدولية أنه يكفي وضع سياسات لمعالجة هذا النوع من المشكلات لتمكين العالم من مضاعفة نسبة كفاءة أجهزة التبريد وخفض الطلب على الطاقة اللازمة للتبريد بمعدل 45 % بحلول منتصف القرن.

غير أنّ كثافة الطلب على الكهرباء ليست ولسوء الحظ الجانب السلبي الوحيد الذي يجعل من أجهزة التكييف مشكلة. فهي تحتوي على وسائط تبريد تُعرف بالغازات المُفَلْوَرة لأنها تحتوي على الفلور، تتسرّب شيئًا فشيئًا مع مرور الوقت إلى أن يصبح الجهاز قديمًا ويتوقّف عن العمل؛ ولا شك أنك لاحظت ذلك عند استبدال سائل التبريد في جهاز التكييف في سيارتك. تعتبر الغازات المفلورة من العناصر الأساسية المُسهِمة في التغيُّر المناخي: فعلى مدار قرن تقريبًا، تسبّبت بالاحترار بنسبة تضاهي آلاف المرّات تلك التي تسبّبت بها كمية مطابقة من ثاني أكسيد الكربون. وفي حال لم تكن قد

سمعت الكثير عنها، فذلك لأنها لا تمثّل نسبة مئوية عالية من غازات الاحتباس الحراري؛ فهي تمثّل في الولايات المتحدة 3 % من الانبعاثات.

ومع ذلك لم تمرّ الغازات المفلوَرَة من دون أن يلاحظها أحد. ففي العام 2016، تعهّد ممثّلون من 197 دولة بخفض إنتاج بعض أنواع الغازات المفلورة واستخدامها بنسبة تزيد عن 80 % بحلول العام 2045، تعهّد يمكن الإيفاء به في ظلّ الجهد الذي تبذله شركات متعدّدة لتطوير مقاربات جديدة للتكييف تَستَبدل مواد تبريد أقل ضررًا بالغازات المفلورة. ما تزال هذه الأفكار في مراحل التطوير الأولى، ومن المبكر جدًا تحديد تكلفتها، غير أنها تشكّل خير مثال على الابتكارات التي نحتاج إليها للحفاظ على البرودة من دون الإسهام في تفاقم الاحترار العالمي.

قد يبدو غريبًا التحدّث عن وسائل التدفئة في كتاب يدور بشكل أساسي حول الاحتباس الحراري العالمي. ما الداعي لتشغيل منظّم الحرارة فيما الجو في الخارج حار؟ عندما نتحدّث عن التدفئة، لا نقصد بذلك جعل الهواء أكثر دفئًا فحسب، بل تسخين المياه أيضًا لأغراض مختلفة بدءًا من الاستحمام وغسل الأطباق وصولًا إلى العمليات الصناعية. ولكنّ الأهم من ذلك كلّه هو أنّ فصل الشتاء ما يزال قائمًا؛ فعلى الرغم من ارتفاع درجات الحرارة على المستوى العالمي، ما يزال الطقس مثلجًا وباردًا جدًا في بعض الأماكن. ويعتبر فصل الشتاء شديد الوطأة بالنسبة إلى الأشخاص الذين يعتمدون على مصادر الطاقة المتجدّدة. ففي ألمانيا مثلًا، يمكن أن تنخفض كمية الطاقة الشمسية المتوافرة بمعامِل 9، كما تمرّ بعض الفترات من دون هبوب أيّ رياح. ما يعني أنه لا يمكن الاستغناء كليًا عن الكهرباء: فمن دونها، يمكن أن يموت الناس في منازلهم من شدة الصقيع.

تمثّل الأفران وأجهزة تسخين المياه حوالى ثلث الانبعاثات الناجمة عن المباني في العالم. وخلافًا للمصابيح وأجهزة التكييف، تعمل بمعظمها بالوقود الأحفوري، وليس بالكهرباء (يتوقّف استخدام الغاز الطبيعي، ووقود التدفئة أو البروبان على المكان الذي تقيم فيه). ما يعني أنه لا يمكن إزالة الكربون من المياه والهواء الساخن عبر جعل شبكة الطاقة الكهربائية نظيفة؛ علينا أن نتمكّن من توفير التدفئة من دون استخدام الوقود والغاز.

إنّ المسار نحو نقطة الصفر للانبعاثات الكربونية في قطاع التدفئة شبيه إلى حدٍّ بعيد بمسار مركبات الركاب: (1) الاعتماد على الشحن بالكهرباء والتخلّص من أجهزة تسخين المياه والأفران التي تعمل بالغاز الطبيعي و (2) تطوير أنواع من الوقود النظيف للقيام بالمهام الأخرى كافة.

الخبر السار هو أنّ الخطوة الأولى تنطوي على علاوة خضراء سلبية. فخلافًا للسيارات الكهربائية، التي تُعدّ أغلى ثمنًا من نظيراتها التي تعمل بالوقود، تساعد أجهزة التبريد والتدفئة على اختلاف أنواعها على توفير النقود. وينطبق ذلك سواء كنت تبني مبنى جديدًا من العدم أو تعيد تجديد منزل قديم. ففي معظم المواقع، ستنخفض التكلفة الإجمالية في حال تخلّصت من المكيّف الكهربائي أو الفرن الذي يعمل بالغاز واستبدلت بهما مضخّة حرارة كهربائية.

قد تبدو فكرة مضخّة الحرارة غريبة عند السماع بها للمرة الأولى. ففي حين أنه من السهل تخيُّل كيفية ضخ المياه أو الهواء، فكيف يمكن ضخ التدفئة؟

تنتفع المضخات الحرارية من التغيُّر في درجات حرارة الغازات والسوائل عند تمدّدها وانكماشها. تعمل المضخات من خلال تحريك مادة

مبرّدة عبر حلقة مغلقة من الأنابيب، مستخدمة مكبسًا وصمامات خاصة لتغيير الضغط في خلال ذلك وتمكين المادة المبرّدة من امتصاص الحرارة في مكان والتخلّص منها في مكان آخر. في خلال فصل الشتاء، يمكن تحويل الحرارة من الخارج إلى الداخل (يمكن تحقيق ذلك في المناطق كافة باستثناء المناطق ذات المناخ البارد جدًا)؛ وفي فصل الصيف، يمكن أن تفعل العكس عبر ضخ الحرارة من داخل المنزل إلى الخارج.

ليست العملية غامضة بقدر ما تبدو عليه. لا شك أنك تملك في منزلك مضخة حرارية وهي الآن تعمل بشكل طبيعي: إنها الثلاجة. فالهواء الساخن الذي تشعر به في أسفل الثلاجة هو الذي يبعد الحرارة عن الأطعمة ويحافظ على برودتها.

كم من المال بوسعك أن تنفق بواسطة مضخة الحرارة؟ تختلف النسبة من مدينة إلى أخرى، بحسب قسوة فصل الشتاء، وتكلفة الكهرباء والغاز الطبيعي، وعوامل أخرى كثيرة. في ما يلي بعض الأمثلة عن الادّخار في المباني الجديدة في مدن مختلفة من الولايات المتحدة بما في ذلك تكلفة تركيب مضخة حرارية وتشغيلها على مدى 15 سنة: العلاوة الخضراء لتركيب مضخة حرارية تعمل على الهواء في مدن أميركية مختارة

المدينة	تكلفة الأفران التي تعمل بالغاز والمكيّفات الكهربائية	تكلفة العلاوة الخضراء لمضخة حرارية تعمل على الهواء	العلاوة الخضراء
بروفيدانس، رود آيلند	$ 12,667	$ 9,912	% 22-
شيكاغو، إلينوي	$ 12,583	$ 10,527	% 16-

هيوستن، تكساس	11,075 $	8,074 $	-27 %
أوكلاند، كاليفورنيا	10,660 $	8,240 $	-23 %

لن تتمكّن من ادّخار كثير من النقود في حال كنت تعيد تجديد منزل قديم، ولكنّ التحوّل إلى استعمال مضخة حرارية يبقى أقل كلفة في معظم المدن. ففي هيوستن مثلًا، يُسهم ذلك في توفير 17 %، في حين أنّ التكلفة في شيكاغو سترتفع بنسبة 6 % لأنّ الغاز الطبيعي المتوافر فيها رخيص جدًا، كما أنّ إيجاد مساحة في بعض المنازل القديمة لمعدّات جديدة ليس عمليًا، ما يعني أنك قد لا تتمكّن من التحديث على الإطلاق.

غير أنّ هذه العلاوات الخضراء السلبية تثير سؤالًا بديهيًا: إذا كان صحيحًا أن المضخات الحرارية تُعدّ من الحلول الفائقة الأهمية، لماذا لا تتعدّى نسبة استخدامها في المنازل الأميركية 11 %؟

قد يكون مردّ ذلك إلى أننا لا نستبدل أفراننا إلّا كلّ عشر سنوات تقريبًا، ولا يملك كثير من الأشخاص ما يكفي من النقود لاستبدال مضخة حرارية بفرن في حالة جيدة.

ويمكن ربط ذلك أيضًا بالسياسات الحكومية القديمة الطراز. فمنذ أزمة الطاقة التي حدثت في السبعينيات من القرن الماضي، كنّا نسعى إلى تخفيف نسبة استخدام الطاقة بحيث وضعت حكومات الولايات حوافز مبتكرة كثيرة لتفضيل الأفران وأجهزة تسخين المياه التي تعمل على الغاز الطبيعي بدلًا من الأجهزة الكهربائية الأقل كفاءة. كما أُدخلت تعديلات على قوانين البناء لعدم تمكين أصحاب المنازل أن يستبدلوا بالأجهزة التي تعمل بالغاز بدائل

كهربائية. ما تزال معظم هذه السياسات التي آثرت الكفاءة على الانبعاثات مجرّد حبر على ورق، ما يحدّ من قدرتنا على خفض الانبعاثات عبر استبدال مضخة حرارية كهربائية بالفرن الذي يعمل بإحراق الغاز، حتى وإن كان من الممكن أن يُسهم ذلك في ادّخار المال.

لا ريب أنّ هذا الأسلوب المألوف في إظهار «الأنظمة والقوانين على أنها في منتهى الغباء» مثير للإحباط. ولكن إذا ما نظرنا إلى الموضوع من زاوية مختلفة، سنتمكّن من رؤية الجانب الجيد. والمقصود بذلك أننا لا نحتاج إلى مزيد من الاختراقات التقنية لخفض الانبعاثات في هذا المجال، لأنّ إزالة الكربون من شبكة الكهرباء تعتبر كافية. فالخيار الكهربائي موجود بالفعل، ومتوافر على نطاق واسع، وليس بسعر تنافسي فحسب، بل بسعر أرخص أيضًا. جلّ ما نحتاج إليه هو التأكّد من مواكبة السياسات الحكومية للتقدّم الحاصل مع مرور الزمن.

وعلى الرغم من أنه من الممكن من الناحية التقنية بلوغ نقطة الصفر لجهة الانبعاثات من أجهزة التدفئة عبر التحوّل إلى استعمال الأجهزة الكهربائية، غير أنّ ذلك لن يحدث ولسوء الحظ بشكل سريع. إذ ليس من المنطقي التفكير بأنه من الممكن أن تتخلّص من الأفران وأجهزة تسخين المياه التي تعمل بالغاز وتستبدل بها أخرى تعمل بالكهرباء بين ليلة وضحاها، حتى إذا ما تمكّنا من تعديل الأنظمة المحبطة للذات، تمامًا كما وأنه ليس من الممكن تشغيل كلّ مركبات الركاب المتوافرة في العالم بالكهرباء بهذه البساطة. فالأفران المصنّعة حاليًا تبقى صالحة للاستعمال لفترة طويلة، وبالتالي إذا كان هدفنا يتمثّل في التخلّص من كلّ الأفران التي تعمل بالغاز بحلول منتصف القرن، علينا أن نتوقَّف عن بيعها بحلول العام 2035. يعمل ما

يقرب من نصف عدد الأفران التي تباع حاليًا في الولايات المتحدة بالغاز؛ فالوقود الأحفوري يؤمّن على المستوى العالمي، كمية من الطاقة تضاهي بحوالى 7 مرات تلك التي تؤمّنها الكهرباء.

بالنسبة إليّ، يشكل ذلك حجة أخرى تبرّر حاجتنا إلى أنواع الوقود الحيوي والوقود الكهربائي التي تحدّثت عنها في الفصل السابع، أنواع يمكن استخدامها لتشغيل الأفران وأجهزة تسخين المياه التي نملكها حاليًا، من دون إدخال أيّ تعديل عليها ومن دون أن تضيف مزيدًا من الانبعاثات الكربونية إلى الغلاف الجوي. غير أن كلًا من الخيارين ينطوي على علاوة خضراء ضخمة:

العلاوة الخضراء المطلوبة لاستبدال بدائل خالية من الكربون بوقود التدفئة الحالي

نوع الوقود	سعر التجزئة الحالي	الخيار الخالي من الكربون	علاوة خضراء
وقود التدفئة (لكل غالون)	2.71 د.أ.	5.50 د.أ. (وقود حيوي متقدّم)	103 %
وقود التدفئة (لكل غالون)	2.71 د.أ.	9.05 د.أ. (وقود كهربائي)	234 %
غاز طبيعي (لكل تيرم)	1.01 د.أ.	2.45 د.أ. (وقود حيوي متقدّم)	142 %
غاز طبيعي (لكل تيرم)	1.01 د.أ.	5.30 د.أ. (وقود كهربائي)	425 %

ملاحظة: يمثّل سعر التجزئة الحالي السعر الوسطي في الولايات المتحدة ما بين العامين. 2015 و 2018 .
يمثّل الخيار الخالي من الكربون السعر المقدَّر حاليًا.

فلنبحث سويًا في ما تمثّله هذه العلاوات بالنسبة إلى عائلة أميركية نموذجية. في حال كانت تستخدم زيت الوقود لتدفئة منزلها، فذلك يعني بأنها ستدفع مبلغًا إضافيًا وقدره 1,300 دولار أميركي في حال كانت ترغب في استخدام الوقود الحيوي المتقدّم، وأكثر من 3,200 دولار أميركي في حال اختارت الوقود الكهربائي. وإذا كانت تستخدم الغاز الطبيعي لتدفئة المنزل، سيسهم الانتقال إلى الوقود الحيوي المتقدّم بإضافة 840 دولارًا أميركيًا إلى الفاتورة مع حلول كلّ فصل شتاء جديد، فيما سيُسهم الانتقال إلى الوقود الكهربائي في إضافة 2,600 دولار أميركي.

يبدو واضحًا أننا في حاجة إلى خفض سعر هذه الأنواع من الوقود البديل، تمامًا كما ذكرت في الفصل السابع. وفي ما يلي الخطوات التي يمكن اتخاذها لإزالة الكربون من أنظمة التدفئة: **الاعتماد على الشحن بالكهرباء** على نطاق واسع والتخلّص من أجهزة تسخين المياه والأفران التي تعمل بالغاز الطبيعي واستبدال مضخات حرارية بها. ينبغي على الحكومات في بعض المناطق تحديث سياساتها لتسهيل هذه التحسينات وتشجيعها.

إزالة الكربون من شبكة الكهرباء عبر نشر مصادر الطاقة النظيفة المتوافرة حاليًا حيثما يمكن ذلك والاستثمار في الاختراقات لتوليد الطاقة وتخزينها ونقلها.

استخدام الطاقة بشكل أكثر كفاءة. قد يبدو هذا نوعًا من التناقض، لأنني قدّمت آنفًا شرحًا مفصّلًا عن السياسات التي آثرت الكفاءة العليا على

الانبعاثات المنخفضة. الحق يقال إننا في حاجة إلى الخيارين.

يشهد العالم طفرة في أعمال البناء، بحيث أننا في حاجة إلى إضافة 2.5 تريليون متر مكعب من الأبنية بحلول العام 2060، لإيواء العدد المتزايد من السكان في المدن الحضرية، أيّ ما يعادل، كما سبق وذكرت في الفصل الثاني، بناء مدينة بحجم نيويورك كلّ شهر على مدى أربعين سنة. من البديهي ألَّا تكون هذه الأبنية كافة مصمّمة للحفاظ على الطاقة وأن تستهلك الطاقة على نحو لا يتّسم بالكفاءة على مدى عقود طويلة.

لحسن الحظ أن باستطاعتنا تشييد مبانٍ خضراء، شرط أن تتوافر لدينا القدرة على دفع العلاوة الخضراء المترتّبة عليها. ولعل أفضل مثال على ذلك هو مركز بوليت (Bullitt Center) في سياتل المعروف بأنه أحد أبرز المباني التجارية الخضراء في العالم. صُمّم مركز بوليت للحفاظ بشكل طبيعي على الدفء في الشتاء وعلى البرودة في الصيف، بحيث يقلّل الحاجة إلى التدفئة والتبريد، كما ويضمّ أيضًا تقنيات أخرى موفّرة للطاقة ومنها المصعد الفائق الكفاءة. فهو قادر على توليد كمية من الطاقة تفوق بنسبة 60 % تلك التي يستهلكها بفضل ألواح الطاقة الشمسية الموضوع على سطحه، على الرغم من أنه ما يزال موصولًا بشبكة الكهرباء المحلية ويستهلك الطاقة في الليل في الأيام التي تكون فيها السماء ملبّدة بالغيوم، وهي ظاهرة تتكرّر باستمرار في سياتل.

وفي حين أنّ التقنيات المستخدمة في مركز بوليت تعتبر حاليًا باهظة الثمن ولا يمكن تعميم استخدامها (ولهذا السبب ما يزال يعتبر المبنى الأكثر خضرة على الرغم من مرور سبع سنوات على افتتاحه)، يمكن جعل المنازل

والمكاتب أكثر كفاءة بكلفة بسيطة. إذ يرى مقاولو البناء أنه من الممكن تصميم غلاف المباني بشكل ضيق جدًا (لمنع تسرّب كمية كبيرة من الهواء إلى الداخل والخارج)، واستخدام تقنيات العزل الجيدة، ونوافذ مقاوِمة للحرارة ثلاثية الألواح الزجاجية، وأبواب أكثر كفاءة.



مركز بوليت في سياتل هو أحد المراكز التجارية الأكثر خضرة في العالم

وأثارت أيضًا النوافذ التي تعتمد على الزجاج الذكي فضولي، لكونها تصبح تلقائيًا داكنة أكثر عندما تحتاج الغرفة إلى أن تكون أكثر برودة وتصبح أكثر إضاءة عندما تحتاج الغرفة إلى أن تكون أدفأ. تُسهم أنظمة البناء الجديدة في تشجيع هذه الأفكار الموفّرة للطاقة، وبالتالي توسعة السوق وتراجع التكلفة. يمكننا تشييد عدد كبير من الأبنية الأكثر كفاءة على مستوى الطاقة، حتى وإن لم تكن كلها توازي مركز بوليت كفاءةً.

بعد أن تطرّقتُ بالتفصيل إلى المصادر الخمسة الرئيسة لانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وهي الوصل بالقابس، والصناعة، والزراعة وتربية

الماشية، ووسائل النقل، والتدفئة والتبريد، آمل أن أكون قد تمكّنت من توضيح ثلاث نقاط أساسية: 1. المشكلة معقّدة للغاية وتطال كلّ الأنشطة البشرية تقريبًا.

2. تتوافر لدينا بعض الأدوات التي ينبغي علينا البدء باستخدامها على نطاق واسع لخفض الانبعاثات.

3. ولكن، لا تتوافر لدينا كافة الأدوات التي نحتاج إليها. علينا خفض العلاوة الخضراء في مختلف القطاعات، ما يعني أننا في حاجة إلى كثير من الابتكارات.

سأقترح في الفصلين 10 و12 الخطوات المحدّدة التي أظن أنها قادرة على أن تتيح لنا الفرص الملائمة لتطوير الأدوات التي نحتاج إليها واستخدامها على نطاق واسع. ولكن عليّ أولًا أن أواجه السؤال الذي يؤرّقني طوال الليل. فقد اكتفيت لغاية الآن بالتحدّث عن كيفية خفض الانبعاثات والحؤول دون ارتفاع درجات الحرارة إلى حدٍّ لا يُحتمل. ولكن ماذا يسعنا أن نفعل بشأن التغيُّرات المناخية القائمة حاليًا؟ وكيف بوسعنا بشكل خاص، مساعدة الأشخاص الأكثر فقرًا في العالم، الذين يعتبرون أكبر الخاسرين في حين أنّهم أقل المُسهمين في التسبُّب بالمشكلة؟

الفصل التاسع

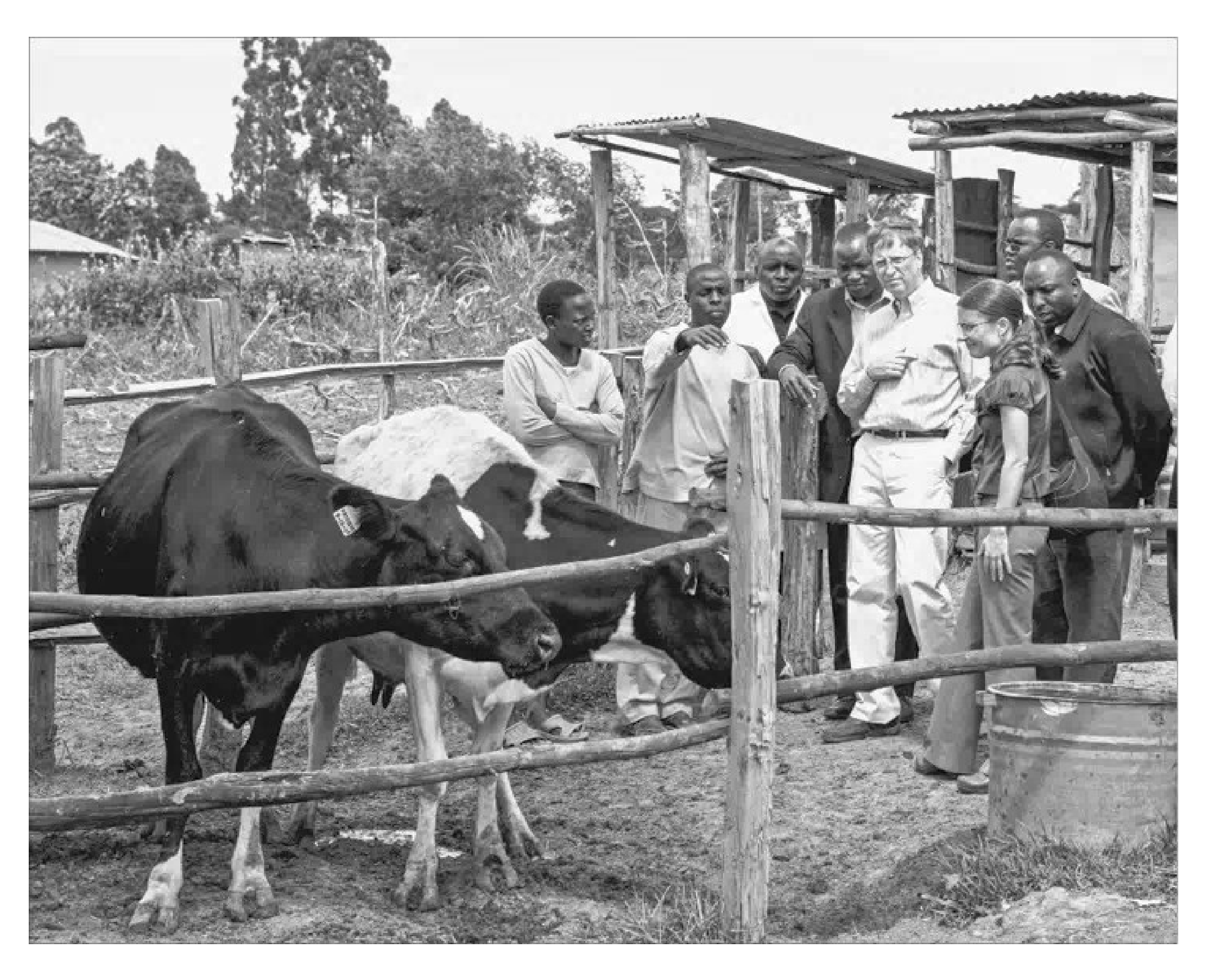
التكيّف مع عالم أدفأ

تطرّقتُ في القسم الأوّل من الكتاب إلى الأسباب الداعية لبلوغ نقطة الصفر على مستوى الانبعاثات ومدى حاجتنا إلى الابتكار لنتمكّن من تحقيق ذلك. ولكنّ الابتكار لا يولد بين ليلة وضحاها والمنتجات الخضراء التي تحدّثت مفصّلًا عنها تحتاج إلى عقود طويلة لتتمكّن من الانتشار على نطاق واسع وإحداث فرق فعلي.

في غضون ذلك، يتجلّى تأثّر الناس في مختلف أنحاء العالم، بصرف النظر عن مستوى دخلهم، بالتغيُّر المناخي بطريقة أو بأخرى. إذ ينبغي على كلّ شخص حي حاليًا أن يتكيّف مع عالم أدفأ. ففي ظل التغيُّر الحاصل على مستوى منسوب مياه البحار والسهول الفيضانية، علينا أن نعيد النظر في المواقع التي نختارها لمنازلنا وأعمالنا، كما علينا دعم شبكات الكهرباء، والمرافئ والجسور، وزراعة مزيد من غابات المانغروف (الأيكة الساحلية) (تابع القراءة إن كنت لا تعرف ما هي غابات المانغروف) وتحسين الأنظمة التي تنذر مسبقًا بمجيء العواصف.

سأعود للحديث عن هذه المشاريع كلها في مرحلة لاحقة من هذا الفصل، ولكنني سأتكلّم حاليًا عن الأشخاص الذين يخطرون من فورهم على بالي عند التفكير في الفئة الأكثر تضرّرًا من الكارثة المناخية والتي تستحق المساعدة الأكبر للتكيّف معها. فهذه الفئة من الناس لا تملك شبكات كهرباء، أو موانئ أو جسورًا لتقلق بشأنها؛ إنها فئة الأشخاص ذوي الدخل المنخفض الذين التقيت بهم في خلال اهتمامي بشؤون الصحة العامة والتطوير، الذين ستكون عواقب التغيُّر المناخي عليهم سيئة. فقصصهم تكشف عن الطابع المعقّد لعملية مكافحة الفقر والتغيُّر المناخي في آن.

فعلى سبيل المثال، التقيت في العام 2009 بأسرة تالام، المؤلَّفة من لابان، ميريم وأطفالهما الثلاثة، لدى إقامتي في كينيا للاطّلاع على نمط حياة المزارعين الذين لا يملكون سوى أربعة هكتارات من الأراضي أو أقل (أو ما يُعرف في المصطلحات الخاصة بالتنمية، بصغار المزارعين). وزرت مزرعتهم الواقعة على بعد بضعة أميال من طريق ترابية في ضواحي إلدوريت، التي تُعدّ إحدى المدن التي تشهد نموًا سريعًا في كينيا. لم تكن أسرة تالام تملك أيّ شيء يُذكر باستثناء عدد من الأكواخ الطينية المستديرة الشكل، مزوّدة بأسقف من قش، بالإضافة إلى حظيرة للحيوانات، بحيث أنّ مزرعتهم تمتد على مساحة هكتارين، ما يوازي مساحة أصغر من ملعب كرة السلة. ولكن ما كان يحصل على هذه المساحة الصغيرة من الأرض استقطب مئات المزارعين من أماكن بعيدة ليتعرّفوا على ما كان يفعله أصحاب تلك المزرعة ومن دون أيّ مساعدة من أحد.



زرت ميريم ولابان تالام في مزرعتهما في كابييت في كينيا في العام 2009. فقصة نجاحهما مذهلة ولكن التغيُّر

المناخي من شأنه أن يقضي على كلّ التقدّم الذي استطاعا تحقيقه.

استقبلني لابان وميريم عند البوابة الأمامية وبدآ بإخباري قصتهما. فقبل سنتين، كانا من صغار المزارعين الذين يمارسون زراعة الكفاف. وعلى غرار كلّ المزارعين المحيطين بهم، عانيا من الفقر الشديد، على الرغم من أنهما كانا يزرعان الذرة (تُعرف في كينيا كما في أماكن كثيرة من العالم بالقطانية) وسواها من الخضار، بعضها للاستهلاك الشخصي والباقي للبيع في السوق، كما وأنّ لابان كان يقوم بأشغال غريبة ليعيل عائلته. وحرصًا منه على زيادة دخله، اشترى بقرة وراح يحلبها بمساعدة زوجته مرّتين في اليوم: في الصباح،

كان يبيع الحليب لتاجر محلّي مقابل مبلغ زهيد من المال ويحتفظ بالحليب في المساء لأسرته. وبشكل إجمالي، كانت البقرة تعطيه ثلاثة ليترات من الحليب في اليوم، أيّ أقل من غالون يوميًا، فيبيع نصفه ويحتفظ بالباقي لأسرته المؤلّفة من خمسة أشخاص.

عندما التقيت بأفراد عائلة تالام، كانت حياتهم قد تحسّنت كثيرًا، بحيث أصبحوا يملكون أربع بقرات تعطيهم 26 ليترًا من الحليب يوميًا، فيبيعون 20 ليترًا في اليوم ويحتفظون بستة ليترات لأنفسهم. وبفضل البقرات الأربع، أصبحت الأسرة تجني 4 دولارات يوميًا، وهو مبلغ كافٍ في هذا الجزء من كينيا لإعادة بناء المنزل، وزراعة الأناناس لتصديره وإرسال الأولاد إلى المدرسة.

شكل افتتاح معمل مجاور لتبريد الحليب نقطة تحوُّل في حياتهم. إذ كانت أسرة تالام وسواها من المزارعين في المنطقة يبيعون الحليب للمعمل، حيث يُبرَّد قبل نقله إلى مناطق مختلفة في كينيا، ويُباع بأسعار أعلى من الأسعار المحلّية. وتحوَّل المعمل أيضًا إلى ما يشبه مركزًا للتدريب يقصده منتجو الألبان المحلّيون ليتعلّموا كيفية تربية المواشي بطريقة صحية وأكثر إنتاجية، وتلقيح الأبقار، وفحص الحليب للتأكّد من خلوهّ من أيّ مواد ملوّثة ليتمكّنوا بالتالي من بيعه بسعر جيد. وفي حال تبيّن أنه لا يفي بالمعايير المطلوبة، يُزوّد المزارعون ببعض النصائح المفيدة لتحسين النوعية.

في كينيا حيث تعيش أسرة تالام، يعمل حوالى ثلث السكان في قطاع الزارعة. يبلغ عدد صغار المزارعين في العالم 500 مليون، ويعمل حوالى ثلثي الأشخاص الذين يعانون من الفقر في الزراعة. وعلى الرغم من أنّ عددهم لا يستهان به، يعتبر صغار المزارعين مسؤولين عن كمية بسيطة من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، لأنهم لا يملكون الإمكانات اللازمة لاستخدام

المنتجات والخدمات التي تعتمد على الوقود الأحفوري. فكمية ثاني أكسيد الكربون التي يتسبّب المواطن الكيني النموذجي بإطلاقها أقل بـ 55 مرّة من تلك التي يتسبّب بانبعاثها المواطن الأميركي، كما وأنّ المزارعين المقيمين في الأرياف مثل أسرة تالام يتسبّبون بكمية أقل من الانبعاثات.

ولكن إذا عدتَ إلى مثال البقرة الذي ذكرته في الفصل السادس، ستتمكّن من إدراك المعضلة في الحال: اشترت أسرة تالام مزيدًا من الأبقار، والماشية تُسهم في التغيُّر المناخي أكثر من الحيوانات الزراعية الأخرى.

في هذا السياق، لم تخرج أسرة تالام عن المألوف: فبالنسبة إلى المزارع الفقير، يعتبر جَني مزيد من المال فرصة للاستثمار في الموجودات العالية القيمة، بما في ذلك الدجاج، والماعز والأبقار، أيّ الحيوانات التي توفّر مصادر للبروتينات الغذائية وسبيلًا لجني النقود عبر بيع الحليب والبيض. إنه قرار حسّاس، ومن يهتم بالشؤون الرامية إلى الحدّ من الفقر سيتردّد قبل أن يقول لهم ألَّا يفعلوا ذلك. إنها مشكلة محيّرة: مع تسلّق الناس سلّم الدخل صعودًا، يتّخذون خطوات من شأنها أن تتسبّب بمزيدٍ من الانبعاثات. لهذا السبب، نحتاج إلى مزيد من الابتكارات، ليتسنّى للفقراء تحسين مستوى حياتهم من دون مفاقَمة مشكلة التغيُّر المناخي.

يتمثّل الإجحاف القاسي في أنّ فقراء العالم الذين لا يتحمّلون مسؤولية التغيُّر المناخي فعليًّا، سيعانون من عواقبه أكثر من سواهم. فالتغيُّر الذي يشهده المناخ سيثير حتمًا مشكلة للمزارعين الميسورين نسبيًا في أميركا وأوروبا، ولكنه سيكون مميتًا بالنسبة إلى المزارعين المنخفضي الدخل في أفريقيا وآسيا.

فمع ارتفاع درجات الحرارة، ستصبح حالات الجفاف والفيضانات أكثر تكرارًا، مما يهدّد بالقضاء على محاصيلنا في أغلب الأحيان، بحيث أنّ كمية الطعام الموفَّرة للمواشي ستقلّ، وسيقلّ معها إنتاج الحليب واللحوم. كما سيفقد الهواء والتربة رطوبتهما، ولن تكون المياه متوافرة بشكل كبير للنباتات؛ ويُتوقَّع أن تتحوّل عشرات الملايين من الهكتارات من الأراضي الزراعية في آسيا الجنوبية وأفريقيا جنوب الصحراء إلى أراضٍ شبه جافة. وسبق أن بدأت الحشرات الآكلة للمزروعات بغزو مزيدٍ من المساحات لعثورها على بيئات أكثر ملائمة للعيش فيها. ويتوقَّع أيضًا أن تصبح المواسم الزراعية أقصر، بحيث أنها قد تتقلّص بنسبة 20 % أو أكثر في معظم مناطق أفريقيا جنوب الصحراء مع ارتفاع درجات الحرارة بمعدل 4 درجات مئوية.

إذا كنت من الأشخاص الذين يعيشون على حافة الهاوية، من المتوقّع أن يكون تأثير أيّ من التغيُّرات المذكورة كارثيًا عليك. ففي حال لم تستطع ادّخار المال وخسرت كلّ محاصيلك الزراعية، لن تتمكّن من شراء مزيد من البذور، وستُمسي بالتالي معدمًا. والأهم من ذلك كلّه هو أنّ التغيُّرات المشار إليها آنفًا ستجعل أسعار المواد الغذائية باهظة بالنسبة إلى الذين بالكاد يستطيعون تأمينها. وبسبب التغيُّر المناخي، ستشهد الأسعار ارتفاعًا كبيرًا بالنسبة إلى ملايين الأشخاص الذين ينفقون أكثر من نصف مداخيلهم على السلع الغذائية.

وفي حال تقلّصت السلع الغذائية، سنشهد تفاقمًا للامساواة الهائلة القائمة بين الفقراء والأثرياء. فالطفل الذي يولد اليوم في تشاد، يكون احتمال وفاته في عيده الخامس 50 مرة أعلى من الطفل الذي يولد في فنلندا، لأنّ النقص المتزايد في الغذاء، سيحول دون تمكّن الأطفال من الحصول على المواد الغذائية التي يحتاجون إليها، ما سيضعف دفاعات أجسادهم الطبيعية

ويجعلهم أكثر عرضة للوفاة نتيجة الإصابة بالإسهال أو الملاريا أو الالتهاب الرئوي. تشير إحدى الدراسات إلى أنّ عدد الوفيات المترتّبة عن الاحترار العالمي قد يقرب من عشرة ملايين سنويًا في نهاية القرن (أي ما يقرب من عدد الأشخاص الذين يموتون حاليًا نتيجة الأمراض المُعدية)، حيث أنّ العدد الأكبر من الوفيات سيُسجّل في الدول الفقيرة. ومن المتوقّع أن يعاني الأطفال الذين لن يلقوا حتفهم، من التقزّم، أيّ نقص النمو الجسدي والعقلي.

وفي الختام، يتمثّل التأثير الأسوأ للتغيُّر المناخي في الدول الفقيرة في تردّي الحالة الصحية، وارتفاع معدَّلات سوء التغذية والوفيات. لذا، نحتاج إلى مساعدة الفقراء على تحسين صحتهم، ويمكن أن نفعل ذلك بحسب رأيي من خلال مبادرتين أساسيتين.

نحتاج أولًا إلى زيادة احتمال بقاء الأطفال المصابين بسوء التغذية على قيد الحياة. ما يعني أنه يجب تحسين أنظمة الرعاية الأوّلية، ومضاعفة جهود مكافحة الملاريا، والاستمرار في توفير التطعيمات اللازمة ضد الإسهال والتهاب الرئة. وعلى الرغم من أنّ تفشي فيروس كوفيد-19 قد جعل هذه الأمور كلها أكثر صعوبة، لا ريب أنّ العالم يعرف الكثير عن كيفية القيام بذلك على أفضل وجه؛ فبرنامج اللقاحات المعروف بالتحالف العالمي للقاحات والتحصين، الذي أسهم في اجتناب وقوع 13 مليون حالة وفاة منذ العام 2000، يعتبر من أبرز الإنجازات البشرية. (يُعدّ إسهام مؤسسة غيتس في هذه الشراكة العالمية أحد أبرز الإنجازات التي نفتخر بها). لا يمكن لنا السماح للتغيُّر المناخي بالقضاء على هذا التقدّم الحاصل، بل علينا العمل على

تنشيطه، وتطوير لقاحات لأمراض أخرى كفيروس نقص المناعة البشرية (HIV) أو الإيدز، والملاريا، والسّل وجعلها متاحة لكلّ من يحتاج إليها.

وإلى جانب إنقاذ حياة الأطفال المصابين بسوء التغذية، علينا الحرص في المقام الأوّل على خفض أعداد الأطفال المصابين بسوء التغذية. فمع النمو السكاني الحاصل، سيتضاعف الطلب على السلع الغذائية ضعفين أو ثلاثة أضعاف في الأماكن التي يعيش فيها أكثر الناس فقرًا. لذا، علينا مساعدة المزارعين الفقراء على زراعة مزيد من المحاصيل، حتى في المناطق التي تشهد حالات جفاف وفيضانات. سأتحدث عن هذه النقطة بالتفصيل في القسم التالي.

غالبًا ما أتواجد برفقة الأشخاص المسؤولين عن ميزانيات المساعدات الخارجية في دول العالم الثرية؛ وسمعت أحد أصحاب النوايا الحسنة يقول يومًا: «تعوّدنا تمويل إنتاج اللقاحات. علينا اليوم أن نؤمّن ميزانية خاصة لتقديم المساعدات الخاصة بالتغيُّر المناخي». والمقصود بذلك مساعدة أفريقيا على خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لديها.

فقلت لهم: «أرجو منكم ألَّا تأخذوا الأموال المخصّصة للقاحات وتستثمروها في السيارات الكهربائية. فأفريقيا مسؤولة عن حوالى 2 % من الانبعاثات العالمية. جلّ ما علينا فعله هو تمويل عملية التكيّف. فالطريقة الأمثل لمساعدة الفقراء على التكيّف مع التغيُّر المناخي هي في الحرص على أن يكونوا أصحّاء بما يكفي ليتمكّنوا من البقاء، ويستمرّوا في النمو على الرغم من كلّ شيء».

لا أظن أنك سبق أن سمعت عن [19] CGIAR. تعرّفت على هذه المجموعة منذ حوالى 10 سنوات بينما كنت أبحث في المشكلات التي يواجهها المزارعون في الدول الفقيرة. وانطلاقًا مما رأيته، لا أظن أنّ أيّ مؤسسة أخرى باستثناء CGIAR قد بذلت هذا الكمّ من الجهد لضمان توفير الأطعمة الغذائية للعائلات، خاصة الأكثر فقرًا بينها. ولا أظن أنّ أيّ مؤسسة أخرى تحتلّ مكانًا أفضل يخوّلها تقديم الابتكارات التي من شأنها مساعدة المزارعين الفقراء على التكيّف مع التغيُّر المناخي في السنوات المقبلة.

تُعتبر CGIAR أبرز مجموعة بحثية على مستوى الزراعة في العالم: باختصار، ساعدت على إيجاد جينات أفضل للنباتات والحيوانات على حدٍّ سواء. ففي مختبر CGIAR في مكسيكو، تمكّن نورمان بورلوغ، الذي تحدّثتُ عنه في الفصل السادس، من إنجاز اختراعه الرائد المتعلّق بالقمح، مشعلًا بذلك شرارة الثورة الخضراء. وتمكّن باحثون آخرون تابعون لـ CGIAR، وقد استمدّوا الإلهام من مثال بورلوغ، من تطوير الأرزّ العالي الغلّة، المقاوِم للآفات، كما عملت المجموعة في الأعوام اللاحقة على المواشي، والبطاطس، والذرة، مُسهِمة بذلك في خفض الفقر وتحسين الغذاء.

من المؤسف أنّ عددًا قليلًا من الناس فقط يعرفون عن CGIAR، ولكن ذلك ليس مستغربًا. فمن جهة، غالبًا ما يخطئ البعض في الاسم ويظنه «سيجار»، ما يوحي بأنها مؤسسة متّصلة بصناعة التبغ (ولا وجود لها). والأصعب هو أنّ CGIAR ليست مجرّد منظمة واحدة، بل شبكة من 15 مركزًا بحثيًا مستقلًا، ولكلّ منها اختصارها المربك. تشمل القائمة CIFOR (المركز الدولي للبحوث الحرجية)؛ ICARDA (المركز الدولي للبحوث الزراعية في

المناطق الجافة)؛ CIAT (المركز الدولي للزراعة الاستوائية)؛ ICRISAT (المركز الدولي لبحوث المحاصيل في المناطق الاستوائية)؛ IFPRI (المعهد الدولي لبحوث السياسات الغذائية)؛ IITA (المعهد الدولي للزراعة الاستوائية)؛ ILRI (المعهد الدولي لبحوث الثروة الحيوانية)؛ CIMMYT (المركز الدولي لتحسين الذرة والقمح)؛ CIP (المركز الدولي للبطاطس)؛ IRRI (المعهد الدولي لبحوث الأرزّ)؛ IWMI (المعهد الدولي لإدارة المياه)؛ وICRAF (الحراجة الزراعية العالمية).

على الرغم من ولعها بحساء حروف الأبجدية، تعتبر CGIAR اللاعب الذي لا يمكن الاستغناء عنه في إيجاد محاصيلَ ومواشٍ ذكية مناخيًا متاحة للمزارعين الأكثر فقرًا في العالم. ويشكّل عملها على الذرة المقاوِمة للجفاف واحدًا من الأمثلة المفضّلة لدي.

وفي حين أنّ حقول الذرة في أفريقيا جنوب الصحراء أقلّ عددًا من أيّ مكان آخر في العالم، تعتمد أكثر من 200 مليون أسرة على هذه المحاصيل لتأمين سبل العيش. وفي حين أنّ الأنماط المناخية أصبحت أكثر فوضوية، ما يزال المزارعون عرضة لخطر تقلّص مواسم الحصاد أو انعدامها في بعض الأحيان.

لذا، طوّر الخبراء في CGIAR مجموعة متنوّعة من القطانية القابلة لتحمّل الجفاف، بحيث يُكيَّف كلّ منها للنمو في مناطق معينة في أفريقيا. في بادئ الأمر، كان عددٌ كبيرٌ من صغار المزارعين يخشون تجربة أنواع جديدة من المحاصيل، وذلك أمر مفهوم. فمن يكدح ليؤمّن قوته، لن يجازف بتجربة جذور لم يسبق له أن زرع مثلها، لاسيّما وأنه لا يملك ما يستند إليه في حال لم تنمو

بشكل جيد. ولكن بعد المحاولات الحثيثة التي أجراها الخبراء لشرح فوائد هذه الأنواع الجديدة للمزارعين المحلّيين وبائعي البذور، بدأ بعضهم باستعمالها.

أسهمت النتائج المحقَّقة في تغيير نمط حياة عدد كبير من العائلات؛ ففي زمبابوي مثلًا، تمكّن المزارعون في المناطق العرضة للجفاف، الذين استخدموا القطانية القابلة لتحمّل الجفاف من حصاد ما يصل إلى 600 كلغ إضافيًا من القطانية لكل هكتار مقارنة بالمزارعين الذين اعتمدوا الوسائل التقليدية. (أي 500 رطل إضافي لكل هكتار، ما يؤمّن كمية كافية لإطعام أسرة من 6 أشخاص لمدة 9 أشهر). بالنسبة إلى الأُسر التي اختارت بيع حصادها، تمكّنت من جني مكاسب إضافية كافية لإرسال الأولاد إلى المدرسة وتلبية الحاجات المنزلية الأخرى. واصل الخبراء التابعون لـ CGIAR عملهم بحيث طوّروا أنواعًا أخرى من القطانية تنمو في التربة الضعيفة؛ وتقاوم الأمراض، الآفات أو الطفيليات؛ تزيد ناتج المحاصيل بنسبة 30 % وتُسهم في مكافحة سوء التغذية.

لم يتوقّف الأمر على القطانية. فبفضل الجهود المبذولة من CGIAR، انتشرت أنواع الأرزّ القابلة لتحمّل الجفاف على نطاق واسع في الهند حيث المناخ يتسبّب بمزيد من موجات الجفاف خلال موسم الأمطار. وطوّروا أيضًا نوعًا من الأرزّ، أُطلق عليه بذكاء لقب أرزّ «سكوبا» (أي الغوص)، لكونه قابلًا للبقاء تحت الماء لمدّة أسبوعين. عند حدوث فيضانات، غالبًا ما تمدِّد نباتات الأرزّ أوراقها في محاولة منها لإنقاذ نفسها من المياه؛ في حال بقائها تحت المياه لفترة طويلة، سوف تستنفد كامل طاقتها وهي تحاول التملّص من المياه، وتموت في نهاية المطاف من شدّة الإرهاق. لا يواجه أرزّ سكوبا هذه

المشكلة، فهو يحتوي على جينة تُسمّى SUB1 يظهر مفعولها عند حدوث الفيضان بحيث تُبقي النبتة في حالة سبات، لتتوقّف بالتالي عن التمدّد، إلى أن تتراجع المياه.

لا تصبّ CGIAR تركيزها على البذور فحسب، فالعلماء التابعون لها ابتكروا تطبيقًا خاصًا بالهواتف الذكية يسمح للمزارعين باستعمال آلات التصوير في هواتفهم للتعرّف على الآفات والأمراض التي تطال الكاسافا التي يعتبر محصولها مصدرًا مهمًا للنقد في أفريقيا. كما وابتكروا أيضًا برامج لاستخدام الطائرات المسيّرة والمستشعرات الأرضية لمساعدة المزارعين على تحديد كمية المياه والأسمدة التي تحتاج المحاصيل إليها.

يحتاج المزارعون الفقراء إلى مزيد من هذه التقنيات المتقدّمة، غير أنّ CGIAR وسواها من المنظّمات البحثية الناشطة في حقل الزراعة في حاجة إلى التمويل لتتمكّن من توفيرها. تعاني البحوث في حقل الزراعة من نقص مزمن في التمويل. في الواقع، تعدّ مسألة مضاعفة التمويل المخصّص لـ CGIAR من التوصيات الرئيسة للجنة العالمية المعنية بالتكيّف، التي ترأستها مع الأمين العام السابق للأمم المتحدة بان كي مون والمدير التنفيذي الأسبق لصندوق النقد الدولي كريستالينا جورجيفا [20]. لا شك عندي مطلقًا في أنّ هذه الأموال منفقة بشكل ملائم: فكل دولار يُستثمَر في بحوث CGIAR يحقّق فوائد بمعدل 6 دولارات. من المؤكَّد أنّ وارن بافيت مستعدّ للتخلّي عن ذراعه الأيمن مقابل استثمار يعطيه فائدة بمعدل 6 دولارات لكل دولار، وينقذ حياة الناس في آن معًا.



حقل مزروع بأرزّ سكوبا القادر على الصمود في وجه الفيضانات لمدة أسبوعين متتاليين،
ما يعتبر ميزة على قدر كبير من الأهمية في ظلّ تواتر حالات الفيضانات أكثر.

إلى جانب مساعدة صغار المزارعين على زيادة ناتج محاصيلهم، قدّمت اللجنة المعنية بالتكيّف توصيات أخرى متعلّقة بالزراعة:

مساعدة المزارعين على إدارة المخاطر المترتّبة عن الطقس الذي تزداد أحواله فوضوية. يمكن على سبيل المثال أن تساعد الحكومات المزارعين على زراعة مجموعة منوّعة من المحاصيل وتربية أنواع مختلفة من المواشي حتى لا تسبّب لهم أيّ نكسة خسائر فادحة. كما ينبغي أيضًا على الحكومات إعادة النظر في مسألة تعزيز أنظمة الضمان الاجتماعي وترتيب الضمان الزراعي المتّصل بأحوال الطقس لمساعدة المزارعين على استرداد خسائرهم.

التركيز على الفئات الأكثر ضعفًا. لا تشكّل فئة النساء الفئة الوحيدة الأكثر ضعفًا فحسب، بل الفئة الأكبر حجمًا أيضًا. فتأثير التقلّبات المناخية يكون في أغلب الأحيان أصعب على النساء منه على الرجال لأسباب مختلفة، منها ثقافية، سياسية واقتصادية. قد لا تكون قادرة مثلًا على ضمان حقوق الأرض أو الوصول بشكل متساوٍ إلى المياه أو الحصول على التمويل اللازم لشراء الأسمدة، أو حتى الاطّلاع على توقّعات الأحوال الجوّية. لذا، علينا اتخاذ بعض الخطوات لتعزيز حقوق الملكية للمرأة واستهداف مشورة تقنية مخصّصة لها. من المتوقّع أن تكون النتائج مثيرة: أظهرت دراسة أجرتها إحدى وكالات الأمم المتحدة أنه في حال تمكّنت النساء من الوصول إلى الموارد نفسها التي يصل

الرجال إليها، فهنّ قادرات على زيادة المزروعات بنسبة تراوح بين 20 % و30 وخفض عدد الأشخاص الجائعين في العالم بمعدل 12% إلى 17.

إدخال عنصر التغيُّر المناخي في القرارات السياسية. إنّ المبالغ المنفقة لمساعدة المزارعين على التكيّف قليلة جدًا؛ إذ خُصّص جزء بسيط جدًا من مبلغ 500 مليار دولار التي أنفقتها الحكومات على القطاع الزراعي ما بين العامين 2014 و2016 للأنشطة التي من شأنها التخفيف من وقع التغيُّر المناخي على الفقراء. يجب على الحكومات وضع سياسات وحوافز لمساعدة المزارعين على خفض الانبعاثات وزيادة نسبة مزروعاتهم في آن.

باختصار، يعتبر الأثرياء وأصحاب الدخل المتوسّط مسؤولين عن الجزء الأكبر من التغيُّر المناخي. فإسهام الأشخاص الأكثر فقرًا في هذه المشكلة أقل من غيرهم، إلَّا أنهم يعانون من تأثيرات هذه المشكلة أكثر من سواهم. لذا، فهم يستحقون مساعدة العالم لهم، ويحتاجون إلى أكثر بكثير ممّا يحصلون عليه.

—

خلال العقدين الماضيين، اطّلعتُ على الحالة اليائسة التي يعاني منها المزارعون الفقراء والتأثير الذي سيتركه التغيُّر المناخي عليهم، في خلال عملي على مكافحة الفقر في العالم. وتحوَّل ذلك إلى نوع من الشغف، خاصة بعد أن أصبحت مهووسًا بالعلوم المذهلة الكامنة وراء تحسين النوع النباتي.

غير أنني لم أفكّر حتى وقت قريب، في القطع الأخرى لأحجية التكيّف، والمقصود بذلك ما ينبغي على المدن أن تفعله للاستعداد أو مدى تأثّر الأنظمة الإيكولوجية بذلك. ولكن سنحت لي الفرصة مؤخّرًا للتعمّق في الموضوع من

خلال عملي مع اللجنة المعنية بالتكيّف. إليك بعض الأفكار التي تمكّنت من كسبها من عملي في اللجنة، مستنيرًا بأعمال العشرات من الخبراء في العلوم، والسياسة العامة، والصناعة، وميادين أخرى، لأعطيك فكرة عما يتطلّبه التكيّف مع مناخ أدفأ.

بوجه عام، يمكن التفكير في التكيّف على ثلاث مراحل. تشمل المرحلة الأولى خفض المخاطر التي يشكّلها التغيُّر المناخي، عبر اتّباع بعض الخطوات كتحصين المباني والبنى التحتية الأخرى من العوامل المناخية، وحماية المستنقعات على سبيل التحصين ضد الفيضانات، وتشجيع الناس، عند الاقتضاء، على الانتقال بصورة دائمة من المناطق التي لم تعد صالحة للعيش.

تشمل المرحلة الثانية الاستعداد للحالات الطارئة والاستجابة لها. فنحن في حاجة إلى الاستمرار في تحسين توقّعات الأحوال الجوّية وأنظمة الإنذار المبكر للحصول على معلومات عن العواصف. فعند وقوع الكارثة، نحتاج إلى فرق من المستجيبين الأوائل، مجهزة تجهيزًا حسنًا ومدرّبة تدريبًا جيدًا فضلًا عن نظام قائم لتسيير عمليات الإجلاء المؤقتة.

في الختام، تشمل المرحلة الثالثة فترة الإنعاش التي تلي الكارثة. نحتاج إلى وضع خطة للخدمات التي ينبغي توفيرها للأشخاص الذين تشرّدوا، ومنها خدمات الرعاية الصحية والخدمات التربوية، إلى جانب التأمين الذي من شأنه مساعدة الأشخاص على اختلاف مستويات دخلهم في أعمال إعادة البناء للتأكّد من أنّ ما أُعيد بناؤه محصّن أكثر من ذي قبل ضدّ العوامل المناخية.

في ما يلي الخطوط الأربعة الرئيسة للتكيّف:

على المدن تغيير نمط نموها. تأوي المناطق الحضرية أكثر من نصف سكّان الأرض، وهي نسبة يُتوقّع أن تزداد في السنوات المقبلة، كما وأنها مسؤولة عن أكثر من ثلاثة أرباع الاقتصاد في العالم. وفي خلال توسعها، غالبًا ما ينتهي الأمر بكثير من دول العالم السريعة النمو بأن تبني فوق السهول الفيضانية، والغابات والمستنقعات التي يمكن أن تمتصّ ارتفاع منسوب المياه في خلال العواصف أو توفير خزّانات للمياه خلال الجفاف.

من المتوقّع أن تتأثّر كلّ المدن بالتغيُّر المناخي، ولكن المدن الساحلية ستواجه مشكلات كبيرة. فمئات الملايين من الأشخاص قد يضطرّون إلى مغادرة منازلهم مع ارتفاع منسوب مياه البحار وتفاقم حدّة العواصف. ومع حلول منتصف القرن الحالي، من الممكن أن تجاوز تكلفة التغيُّرات المناخية التي ستتكبدها المدن كافة، تريليون دولار سنويًا. والقول إنّ ذلك سيُسهم في تفاقم المشكلات التي تعاني منها معظم المدن، كالفقر، والتشرّد، والرعاية الصحية والتربية، سيكون مجرّد تصريح متحفّظ.

كيف يمكن تحصين مدينة من التغيُّرات المناخية؟ في بادئ الأمر، يحتاج مخطّطو المدن إلى أحدث البيانات المتاحة حول المخاطر وتوقعات الأحوال الجوّية من النماذج الحاسوبية التي تتنبأ بالتغيُّرات المناخية. (حاليًا، لا يملك معظم القادة في المدن خرائط أساسية تشير إلى المناطق الأكثر عرضة للفيضانات في المدينة). وبعد التسلّح بأحدث المعلومات، يمكنهم اتخاذ قرارات أفضل حول كيفية التخطيط للأحياء السكنية والمراكز الصناعية، وبناء الأسوار البحرية أو توسعتها، وحماية أنفسهم من العواصف التي يُتوقّع أن تصبح أعنف، ودعم أنظمة تصريف مياه الأمطار، وتشييد أرصفة الميناء لتكون على مستوى أعلى من المدّ الصاعد.

على سبيل التحديد، هل يجب أن يكون ارتفاع الجسر الذي يُبنى فوق النهر المحلّي 12 قدمًا أو 18؟ من المتوقّع أن يكون الجسر الأكثر ارتفاعًا أعلى تكلفة على المدى القصير، ولكن إذا كنت واثقًا من احتمال حدوث فيضان هائل خلال العقد المقبل، فمن الممكن اعتباره الخيار الأكثر ذكاءً. بالتالي، من الأفضل بناء جسر أعلى تكلفة مرّة واحدة من بناء جسر أقلّ تكلفة، مرتين.

لا يتوقّف الأمر على إعادة ترميم البنى التحتية القائمة حاليًا في المدن؛ فالتغيُّر المناخي يدفعنا أيضًا إلى إعادة التفكير في الحاجات الجديدة بالكامل. فالمدن التي تشهد مثلًا ارتفاعًا في درجات الحرارة في حين أنّ عددًا كبيرًا من سكانها لا يستطيع توفير أجهزة تبريد، ستحتاج إلى بناء مراكز للتبريد، أو منشآت يمكن أن يلجأ الناس إليها هربًا من الحر. ولسوء الحظ أنّ استخدام مزيد من أجهزة التكييف إنما يعني أننا سوف نتسبّب بانبعاث مزيد من غازات الاحتباس الحراري، ما يشكّل سببًا آخر لإيلاء أهمية أكبر للتقنيات المتقدّمة في حقل التبريد التي ناقشتها في الفصل الثامن.

علينا أن ندعم دفاعاتنا الطبيعية. تخزّن الغابات المياه وتضبطها، في حين تَحول المستنقعات دون حدوث الفيضانات وتؤمّن المياه للمزارعين والمدن. تشكّل الشعاب المرجانية مأوى للأسماك التي تعتمد عليها المجتمعات الساحلية لتوفير الطعام. غير أنّ هذه الدفاعات الطبيعية ضد التغيُّر المناخي تشهد زوالًا سريعًا. إذ تعرّض ما يزيد عن 9 ملايين هكتار من الغابات القديمة النمو للدمار في خلال العام 2018 فحسب، وفي حال ارتفاع الاحترار بمعدل درجتين مئويتين، من المتوقّع أن تنقرض معظم الشعاب المرجانية في العالم.

من ناحية أخرى، يُتوقّع أن تعود عملية استعادة النظم البيئية بفائدة كبرى علينا، بحيث يمكن أن تدّخر مرافق المياه في أكبر مدن العالم 890 مليون دولار سنويًا عبر استعادة الغابات والمستجمعات المائية. فقد بدأت بلدان عدّة بالتقدّم على هذا الطريق بالفعل: إذ أدّت الجهود المبذولة في النيجر لإعادة التشجير على النطاق المحلّي بقيادة المزارعين إلى رفع مردود المحاصيل، وزيادة الغطاء الشجري وتقليص الوقت الذي تصرفه النساء في جمع الحطب من ثلاث ساعات يوميًا إلى 30 دقيقة. وصنّفت الصين حوالى ربع مساحة الكتلة الأرضية كأصول طبيعية مهمة حيث ستعطي الأولوية لتعزيز صيانة النظام الإيكولوجي وحفظه. من جهتها، لجأت المكسيك إلى حماية ثلث أحواض أنهارها للحفاظ على إمدادات المياه لـ 45 مليون شخص.

إذا تمكّنا من الارتكاز إلى هذه الأمثلة، عبر نشر الوعي حول مدى أهمية النظام الإيكولوجي ومساعدة مزيد من البلدان على أن تقتدي بها، سنكتسب فوائد الدفاع الطبيعي ضد التغيُّر المناخي.

في ما يلي مزيد من الثمار الدانية، إذا جاز التعبير، وهي غابات المنغروف. والمنغروف عبارة عن شجيرات تنمو على طول السواحل وبوسعها التكيّف مع المياه المالحة؛ كما وأنها تقلّل من هبوب العواصف العارمة، وتمنع وقوع الفيضانات الساحلية وتحمي موائل الأسماك. وبالإجمال، تساعد أشجار المنغروف العالم على اجتناب ما يقرب من 80 مليار دولار سنويًّا من الخسائر الناجمة عن الفيضانات، كما تُسهم في ادّخار مزيد من المليارات بطرق أخرى. تعتبر زراعة أشجار المنغروف أقل كلفة بكثير من بناء حواجز الأمواج الساحلية، كما تساعد الأشجار أيضًا على تحسين جودة المياه. إنها استثمار رائع.



زراعة أشجار المنغروف استثمار جيد. فهي تساعد على اجتناب ما يقرب من 80 مليار دولار سنويًا من الخسائر الناجمة

عن الفيضانات.

إن كمية مياه الشفة التي نحتاج إليها أكبر من الكمية التي نستطيع توفيرها. في ظلّ تقلّص أو تلوّث البحيرات وطبقات المياه الجوفية، يُمسي من الصعب توفير المياه الصالحة للشرب لكلّ من يحتاج إليها. يواجه معظم المدن الكبرى في العالم بالفعل نقصًا حادًّا، وفي حال لم يحدث أيّ تغيير، ستزداد نسبة الأشخاص الذين لا يستطيعون الحصول على كمية كافية من المياه الصالحة للشرب مرّة واحدة على الأقلّ في الشهر بأكثر من الثلث، أيّ ما يزيد على 5 مليارات شخص، بحلول منتصف القرن.

غير أنّ التقنيات الحديثة تحمل معها بعض الآمال الواعدة. نحن نعلم كيفية استخراج الملح من مياه البحر وجعلها صالحة للشرب، لكنّ العملية تستهلك طاقة كبيرة، شأنها شأن نقل المياه من المحيط إلى منشأة تحلية

المياه، ومن ثمّ من المنشأة لإيصالها إلى من يحتاج إليها. (هذا يعني أنّ مشكلة المياه مرتبطة بشكل أساسي بمشكلة الطاقة: مع توافر طاقة نظيفة ورخيصة، بوسعنا الحصول على الكمية التي نحتاج إليها من مياه الشرب).

تفترض إحدى الأفكار الذكية التي كنت أراقبها عن كثب، استخراج الماء من الهواء. والمقصود بذلك في الأساس جهاز إزالة الرطوبة الذي يعمل بالطاقة الشمسية والمزوَّد بنظام متطوّر للتصفية حتى لا تشرب التلوّث الموجود في الهواء. صحيح أنّ النظام متوافر حاليًا، لكنّ تكلفته تبلغ آلاف الدولارات، ويعتبر عالي التكلفة بالنسبة إلى الفقراء في العالم، الذين سيعانون أكثر من سواهم من النقص في المياه.

غير أننا نحتاج إلى اتخاذ خطوات عملية، أو محفّزة، من شأنها أن تُسهم في خفض الطلب على المياه، وجهود تساعد على زيادة العرض، وذلك في انتظار أن تصبح فكرة من هذا القبيل في متناول الجميع. يشمل ذلك مجموعة كبيرة من الإجراءات بدءًا من استصلاح مياه الصرف العادمة وصولًا إلى نظام الريّ في الوقت المناسب، الهادف إلى خفض استخدام المياه بشكل كبير مع زيادة غلّة المزارعين.

في الختام، لتمويل مشاريع التكيّف، يجب إتاحة الوصول إلى تمويلات جديدة. لا أتحدّث عن المساعدات الخارجية للبلدان النامية، على الرغم من أننا سنحتاج إلى ذلك أيضًا، ولكن عن كيفية جذب الأموال العامة لمستثمرين من القطاع الخاص لدعم مشاريع التكيّف.

في ما يلي عرض للمشكلة التي نحتاج إلى تخطّيها: يدفع الناس تكاليف التكيّف مسبقًا، لكنّ الفوائد الاقتصادية قد لا تظهر قبل مرور سنوات.

باستطاعتك على سبيل المثال، تحصين أعمالك من الفيضانات، إلَّا أنها قد لا تكون عرضة لفيضان عارم قبل 10 سنوات أو 20 سنة. كما أنّ التحصين ضد الفيضانات لن يؤدّي إلى تدفّق السيولة النقدية المقبولة لدى المصارف؛ والعملاء لن يدفعوا مبالغ إضافية مقابل منتجاتك لأنك اتخذت التدابير اللازمة لمنع تسرّب مياه الصرف الصحي إلى قبو منزلك أثناء الفيضان. لهذا، من المتوقّع أن تُحجِم المصارف عن إقراضك الأموال اللازمة لتنفيذ المشروع، أو تفرض عليك سعر فائدة أعلى. في كلتا الحالتين، عليك أن تتحمّل بعض التكاليف بنفسك، ما قد يدفعك وبكل بساطة إلى صرف النظر عن المشروع.

خذ هذا المثال الواحد وطبّقه على نطاق مدينة أو ولاية أو دولة بأكملها، وستدرك لماذا يتعيّن على القطاع العام تأدية دورٍ لجهة تمويل مشاريع التكيّف وجذب القطاع الخاص في آن. علينا أن نجعل من التكيّف استثمارًا جذابًا.

يبدأ ذلك بإيجاد طرق للأسواق المالية العامة والخاصة لأخذ مخاطر التغيُّر المناخي بالاعتبار وتحديد قيمة هذه المخاطر وفق ذلك. بدأت بعض الحكومات والشركات بمعاينة مشاريعها لناحية المخاطر المناخية، ويجب على الشركات الأخرى كافة أن تحذو حذوها. يمكن للحكومات أيضًا تخصيص المزيد من الموارد في مجال التكيّف، وتحديد الأهداف وحجم الاستثمار المطلوب مع مرور الوقت، وتبنّي سياسات من شأنها إزالة بعض المخاطر التي يتعرّض لها مستثمرو القطاع الخاص. وما إن تصبح مكافآت مشاريع التكيّف أكثر وضوحًا، سيشهد الاستثمار الخاص بعض النمو.

لعلّك تتساءل عن تكلفة هذا كلّه. لا تتوافر أيّ طريقة لوضع بطاقة تسعير لكلّ ما يحتاج العالم إلى فعله للتكيّف مع التغيُّر المناخي. لكنّ اللجنة التي أنا عضو فيها حدّدت نسبة الإنفاق في خمسة مجالات رئيسة (إنشاء

أنظمة الإنذار المبكر، بناء البنية التحتية القابلة للتكيّف مع المناخ، تحسين المردود من المحاصيل، إدارة المياه، وحماية أشجار المنغروف) ووجدت أنّ استثمار 1.8 تريليون دولار بين العامين 2020 و2030 من شأنه أن يحقّق فوائد تزيد عن 7 تريليون دولار. لوضع الأمور في نصابها، تمثّل تلك الفائدة موزَّعة على مدى عشر سنوات، حوالى 0.2 ٪ من الناتج المحلي الإجمالي العالمي، مع ما يقرب من أربعة أضعاف عائد الأموال المستثمرة.

يمكن قياس هذه الفوائد من منظار الأشياء السيئة التي لن تحدث: الحروب الأهلية التي لا تندلع نتيجة الصراع على المياه، والمزارعون الذين لن يهلكوا بفعل الجفاف أو الفيضانات، والمدن التي لن تكون عرضة للدمار بسبب الأعاصير، وموجات جديدة من الناس الذين لن يصبحوا لاجئين بفعل المناخ. كما يمكن قياسها من منظار الأشياء الجيدة التي ستحدث: الأطفال الذين سيكبرون بفضل توافر العناصر الغذائية التي يحتاجون إليها، والأُسر التي ستتخلّص من الفقر وتنضمّ إلى الطبقة الوسطى في العالم، والشركات والمدن والبلدان التي ستزدهر على الرغم من ارتفاع درجات الحرارة.

بصرف النظر عمّا تفكّر حيال ذلك، فإنّ الحالة الاقتصادية واضحة، وكذلك القضية الأخلاقية. شهد الفقر المدقع في الربع الأخير من القرن الماضي، تراجعًا من 36 % من سكان العالم في العام 1990 إلى 10 % في العام 2015، على الرغم من أنّ انتشار فيروس كوفيد-19 تسبّب بانتكاسة كبيرة قضت على جزء لا يُستهان به من التقدّم الحاصل. ويمكن أيضًا للتغيُّر المناخي أن يقضي على مزيد من تلك الفوائد، بحيث يزيد عدد الأشخاص الذين يعيشون في فقر مدقع بنسبة 13 %.

لذا، على كلّ من أسهم أكثر من سواه في نشوء هذه المشكلة مساعدة الآخرين على التخلّص منها. فنحن مدينون لهم بهذا القدر.

—

للتكيُّف جانب آخر يستحق اهتمامًا أكبر بكثير مما يحظى به: علينا أن نستعد لسيناريو أسوأ الحالات.

حدّد علماء المناخ عددًا من نقاط التحوّل التي من شأنها أن تزيد بشكل لافت سرعة حدوث التغيُّر المناخي، بما في ذلك مثلًا، إمكانية أن تتزعزع الهياكل البلّورية الشبيهة بالجليد التي تحتوي على كميات كبيرة من الميثان في قاع المحيط وتنفجر. ويمكن في وقت قصير نسبيًا، أن تضرب الكوارث الطبيعية في مختلف أنحاء العالم، وتشلّ محاولاتنا للاستعداد والاستجابة للتغيُّر المناخي. ومع ارتفاع درجات الحرارة، يزداد احتمال وصولنا إلى نقطة التحوّل.

إذا بدأت الأمور بالاتجاه نحو إحدى نقاط التحوّل هذه، ستسمع مزيدًا من الأفكار الجريئة، التي قد يصفها البعض بالجنونية، المندرجة تحت المصطلح الشامل «الهندسة الجيولوجية». على الرغم من أنّ هذه الأساليب غير مثبتة، وتثير قضايا أخلاقية شائكة، إلّا أنها تستحق البحث والنقاش بينما لا نزال نتمتّع بترف البحث والنقاش.

تعتبر الهندسة الجيولوجية أداة متطوّرة تعتمد نوعًا ما على تقنية «كسر الزجاج في حالة الطوارئ». تتمثّل الفكرة الأساسية في إدخال تغييرات مؤقّتة على محيطات الأرض أو الغلاف الجوي لخفض درجة حرارة الكوكب. لن يكون الغرض من هذه التغييرات إعفاءنا من مسؤولية تقليل الانبعاثات؛ ولكنها ستساعدنا على كسب مزيد من الوقت لنتمكّن من الاضطلاع بمسؤولياتنا.

لبضع سنوات خلت، كنت أموّل بعض الدراسات حول الهندسة الجيولوجية (يعتبر هذا التمويل ضئيلًا مقارنة بالأعمال الرامية إلى التخفيف من وطأة ذلك وتعزيز مشاريع التكيّف التي أدعمها). تعتمد معظم مقاربات الهندسة الجيولوجية على أن التعويض عن الاحترار الناجم عن غازات الاحتباس الحراري التي أطلقناها في الغلاف الجوي، يقتضي تقليل كمية ضوء الشمس التي تضرب الأرض بحوالى 1 ٪ [21].

ثمة طرق مختلفة للقيام بذلك، ومنها توزيع جزيئات بالغة الدقّة، يبلغ قطر كلّ منها عدّة أجزاء من المليون من الإنش، في الطبقات العليا من الغلاف الجوي. يدرك العلماء بأنّ هذه الجزيئات قادرة على عكس أشعة الشمس وتبريد الجو، لأنهم شاهدوا الأمر يحدث: فعند انفجار بركان قوي، يقذف أنواعًا مشابهة من الجزيئات ويؤدي إلى انخفاض درجات الحرارة في العالم بشكل ملحوظ.

تنطوي مقاربة أخرى للهندسة الجيولوجية على تبييض السحب. بما أنّ ضوء الشمس ينعكس على قمم السحب، بوسعنا العمل على عكس مزيد من ضوء الشمس والحصول على الأثر التبريدي عبر تبييض الغيوم باستخدام رذاذ الملح الذي يساعد على عكس الضوء بشكل أكبر. ولا يتطلّب الأمر زيادة كبيرة؛ فللحصول على خفض بنسبة 1 %، نحتاج فقط إلى تبييض السحب التي تغطّي 10 % من مساحة الأرض بنسبة 10 %.

تتوافر مقاربات أخرى للهندسة الجيولوجية تربط في ما بينها ثلاثة قواسم مشتركة. أولًا، تتميّز في كونها متدنية التكلفة نسبيًا مقارنة بحجم المشكلة، وتتطلّب تكاليف رأسمالية مباشرة تقلّ عن 10 مليارات دولار ونفقات تشغيلية بالحدّ الأدنى. ثانيًا، يستمر التأثير على السحب لمدة أسبوع أو

ما شابه، بحيث بوسعنا استخدامها خلال الفترة التي نحتاج إليها والتوقّف بعدها عن ذلك من دون آثار طويلة الأمد. ثالثًا، وبصرف النظر، عن المشكلات التقنية التي قد تواجهها هذه الأفكار، فهي تعتبر بسيطة مقارنة بالعراقيل السياسية التي ستعترضها.

تُنتَقد الهندسة الجيولوجية باعتبارها تجربة ضخمة على هذا الكوكب، في حين أنّ التجارب الضخمة التي شهدها هذا الكوكب تتمثّل في إطلاق كميات هائلة من غازات الاحتباس الحراري كما يشير مؤيّدو الهندسة الجيولوجية.

من الإنصاف القول إننا في حاجة إلى أن نفهم بشكل أفضل التأثير المحتمل للهندسة الجيولوجية على المستوى المحلّي. يعتبر ذلك من الشواغل المشروعة بحيث يستحق دراسة أوسع قبل أن نفكّر في اختبار الهندسة الجيولوجية على نطاق واسع في العالم الحقيقي. وبما أنّ الغلاف الجوي يمثّل بالفعل مصدر قلق عالمي، فلا يمكن لأيّ دولة أن تقرّر تجربة الهندسة الجيولوجية بمفردها. سنحتاج إلى إجماع على ذلك.

من الصعب أن نتخيّل في الوقت الراهن، إمكانية حثّ البلدان في جميع أنحاء العالم على التوافق على ضبط درجات حرارة الكوكب بشكل مصطنع. لكنّ الهندسة الجيولوجية هي الطريقة الوحيدة المعروفة التي من شأنها أن تُسهم في خفض درجات حرارة الأرض في غضون السنوات أو حتى العقود المقبلة من دون شلّ الاقتصاد. ربما يحلّ يوم ولا يكون أمامنا أيّ خيار آخر.

من الأفضل الاستعداد لذلك اليوم من الآن.

الفصل العاشر

أهمية السياسات الحكومية

في العام 1943، وبينما كانت الحرب العالمية الثانية ما تزال في ذروتها، ظهرت في سماء لوس أنجلوس سحابة كثيفة من الدخان. سحابة ضارة تسبّبت بحرقان أعين سكان المدينة وسيلان أنوفهم. كما انحسر مدى رؤية السائقين إلى مسافة لا تتعدى ثلاثة مربّعات سكنية على طول الطريق. وخشي بعض السكان المحلّيين من أن يكون الجيش الياباني قد شنّ هجومًا بالأسلحة الكيميائية على المدينة.

غير أن لوس أنجلوس لم تتعرّض يومها لأيّ هجوم، أو على الأقلّ ليس من جيش أجنبي؛ فالمذنب الحقيقي هو الضباب الملوّث، الناتج عن مزيج سيّئ من تلوّث الهواء ومن الأحوال الجوية.

بعد مرور عقد من الزمن تقريبًا، تسبّب الضباب الملوّث بشلل مدينة لندن لمدة خمسة أيام في كانون الأول/ديسمبر 1952. فتوقّفت الحافلات وسيارات الإسعاف عن العمل. وكانت الرؤية سيئة للغاية، حتى داخل المباني المغلقة، ما أدّى إلى إغلاق دور السينما. فتفشّت أعمال النهب والسلب بعد أن

تعذّر على رجال الشرطة الرؤية لأكثر من بضع أقدام في أيّ اتجاه. (إذا كنت مثلي من محبي مسلسل «ذا كراون»، فسوف تتذكّر حلقة مثيرة في الموسم الأوّل تناولت هذا الحادث المروّع). تسبّب ما يُعرف حاليًّا بالضبخان الكبير في لندن بوفاة 4,000 شخص على الأقل.

نتيجة هذه الحوادث المؤسفة، شهدت الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي ضجة حول تلوّث الهواء باعتباره المسبّب الرئيس للقلق العام في الولايات المتحدة وأوروبا، ما دفع بصانعي السياسات إلى الاستجابة بشكل سريع. فبدأ الكونغرس في العام 1955 بتأمين التمويل لإجراء البحوث اللازمة حول هذه المشكلة وإيجاد الحلول الممكنة. وفي السنة التالية، سنّت الحكومة البريطانية قانون الهواء النظيف، الذي أسهم في إنشاء مناطق للتحكّم بالدخان في جميع أنحاء البلاد حيث يمكن استخدام الوقود الأحفوري النظيف الاحتراق فحسب. وبعد مضي سنوات، وَضَعَ قانون الهواء النظيف في أميركا أسس النظام التنظيمي الحديث للتحكّم في تلوث الهواء في الولايات المتحدة، بحيث ما يزال يعتبر القانون الأكثر شمولية، والأكثر تأثيرًا، لجهة تنظيم تلوّث الهواء الذي من شأنه أن يعرّض الصحة العامة للخطر. في العام 1970، أنشأ الرئيس نيكسون وكالة حماية البيئة للمساعدة على تنفيذه.



يستخدم رجل الشرطة شعلة ضوئية لتنظيم السير خلال الضبخان الكبير في لندن في العام 1952

أدى قانون الهواء النظيف في الولايات المتحدة الدور المطلوب منه لجهة التخلّص من الغازات السامة من الهواء، بحيث انخفض منذ العام 1990 مستوى ثاني أكسيد النيتروجين في الانبعاثات الأميركية بنسبة 56 %، وأول أكسيد الكربون بنسبة 77 %، وثاني أكسيد الكبريت بنسبة 88 %، كما تلاشى الرصاص بشكل نهائي تقريبًا من الانبعاثات الأميركية. وفي حين أن ثمة أعمالًا كثيرة ما تزال في انتظار أن ننجزها، تمكّنا من تحقيق هذا كلّه بالتزامن مع نمو اقتصادنا وعدد سكاننا.

لكن لا داعي للبحث في التاريخ عن أمثلة حول إسهام السياسات الذكية في حلّ مشكلة مثل تلوّث الهواء. فالأمثلة متوافرة في عصرنا الحالي. بدءًا من العام 2014، أطلقت الصين عددًا من البرامج للاستجابة لتلوّث الهواء

الذي يزداد تفاقمًا في المراكز الحضرية مسبِّبًا بلوغ ملوِّثات الهواء مستويات عالية جدًّا وخطيرة. فوضعت الحكومة مجموعة من الأهداف لخفض تلوّث الهواء، بحيث منعت بناء المصانع التي تعمل على الفحم الحجري قرب المدن الأكثر تلوّثًا، وفرضت قيودًا معينة على قيادة السيارات غير الكهربائية في المدن الكبرى. وفي غضون سنوات قليلة، سجّلت بكين انخفاضًا بنسبة 35 % في ما يتعلّق ببعض أنواع التلوّث في حين سجّلت مدينة بودينغ التي يبلغ عدد سكانها 11 مليون نسمة انخفاضًا بنسبة 38 %.

على الرغم من أنّ تلوّث الهواء يعتبر من الأسباب الرئيسة لتفشي الأمراض وارتفاع نسبة الوفيات، بحيث يتسبّب سنويًا بوفاة أكثر من 7 ملايين شخص، أسهمت السياسات القائمة، من دون أدنى شك، في عدم ارتفاع هذه الأعداد أكثر [22]. (كما أسهمت في خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري قليلًا، على الرغم من أنّ ذلك لم يكن مدرجًا ضمن الأهداف المتوخاة من وضعها). وهي تمثّل حاليًّا الدور الريادي الذي قامت به السياسات الحكومية على مستوى اجتناب الكارثة المناخية.

أقرُّ بأنّ عبارة «سياسة» عبارة مبهَمة ومبتذلة، بحيث يمكن لأي اختراق، كطرح أنواع جديدة من البطاريات، أن يكون أكثر إثارة من السياسات التي دفعت بأحد علماء الكيمياء إلى ابتكاره. ولكن الاختراقات لا يمكن أن ترى النور من دون إنفاق الحكومة أموال الضرائب على البحوث، ووضع سياسات من شأنها أن تساعد في انتقال البحوث من المختبرات إلى الأسواق، وفرض أنظمة تساعد على إيجاد الأسواق وتُسهّل عملية التسويق على نطاق واسع.

ركّزتُ في هذا الكتاب على الابتكارات التي نحتاج إليها لبلوغ نقطة الصفر، ومنها طرق جديدة لتخزين الكهرباء، وتصنيع الفولاذ وسوى ذلك، ولكنّ

الابتكارات لا تتوقّف على تطوير أجهزة جديدة فحسب، بل على تطوير سياسات جديدة كذلك لنتمكّن من عرض هذه الابتكارات وتسويقها في الأسواق بأسرع وقت ممكن.

لحسن الحظ فإنّ تطوير هذه السياسات لا يتطلّب منا الانطلاق من أسس جديدة؛ فنحن نملك الكثير من الخبرة على مستوى تنظيم الكهرباء. إذ يعدّ في الواقع هذا القطاع من القطاعات الاقتصادية الأكثر تنظيمًا في الولايات المتحدة وحول العالم. بالإضافة إلى الهواء النظيف، وفّرت لنا سياسات الطاقة الذكية ما يلي:

التزوّد بالكهرباء. في العام 1910، كان 12 % فقط من الأميركيين يمتلكون طاقة كهربائية في منازلهم. بحلول العام 1950، أصبحت متوافرة لأكثر من 90 % منهم بفضل الجهود المبذولة مثل التمويل الفدرالي للسدود، وإنشاء وكالات فدرالية لتنظيم الطاقة، ومشروع حكومي ضخم لتوصيل الكهرباء إلى المناطق الريفية.

أمن الطاقة. عقب أزمة النفط في السبعينيات، عقدت الولايات المتحدة العزم على زيادة الإنتاج المحلّي من مصادر الطاقة المختلفة. فأطلقت الحكومة الفدرالية أول مشاريعها البحثية والتطويرية الكبرى في العام 1974. وشهد العام التالي صدور تشريعات أساسية تتعلّق بالحفاظ على الطاقة، بما في ذلك معايير كفاءة استهلاك الوقود للسيارات. وبعد مرور عامين، أُنشِئت وزارة الطاقة. غير أنّ انهيار أسعار النفط في الثمانينيات دفعنا إلى التخلّي عن عددٍ من هذه الجهود، إلى أن بدأت الأسعار بالارتفاع مرّة أخرى في القرن الواحد والعشرين، مثيرةً موجة جديدة من الاستثمارات

والتنظيمات. ونتيجةً هذه الجهود وغيرها، تمكّنت أميركا في العام 2019 وللمرّة الأولى منذ حوالى 70 سنة، من تصدير كمية من الطاقة تفوق تلك التي استوردتها.

الانتعاش الاقتصادي. بعد الركود الاقتصادي في العام 2008، سعت الحكومات إلى استحداث الاستثمارات ودعمها من خلال استثمار الأموال في الطاقة المتجدّدة، وكفاءة الطاقة، والبنية التحتية للكهرباء، والسكك الحديدية. في العام 2008، أطلقت الصين حزمة تحفيز اقتصادي بقيمة 584 مليار دولار، خُصّص جزء كبير منها للمشاريع الخضراء. وفي العام 2009، استخدم قانون الانتعاش وإعادة الاستثمار الأميركي الإعفاءات الضريبية والمنح الفدرالية وضمانات القروض وتمويل أعمال البحوث والتطوير، لدعم الاقتصاد وخفض الانبعاثات. شكّل ذلك الاستثمار الأكبر الوحيد في الطاقة النظيفة وكفاءة الطاقة في التاريخ الأميركي، لكنه حدث لمرّة واحدة فقط، ولم يكن مثابة تغيير دائم في السياسات.

حان الوقت الآن لتحويل خبراتنا في صنع السياسات لمواجهة التحدّي المطروح أمامنا: بلوغ نقطة الصفر لجهة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

يحتاج القادة الوطنيون في جميع أنحاء العالم إلى الإعلان عن رؤية حول الوسائل التي سيستخدمها الاقتصاد العالمي لإنجاز عملية الانتقال إلى خفض انبعاثات الكربون إلى الصفر. يمكن الارتكاز في مرحلة لاحقة على هذه الرؤية لتوجيه أفعال الأشخاص والشركات التجارية في جميع أنحاء العالم. يمكن للمسؤولين الحكوميين وضع القواعد المتعلّقة بكمية الانبعاثات الكربونية التي يُسمح لمحطات الطاقة والسيارات والمصانع بإطلاقها. كما

يمكن لهم اعتماد الأحكام التي تنظم الأسواق المالية وتوضح مخاطر التغيُّر المناخي للقطاعين الخاص والعام. من الممكن أن يكونا المستثمرَين الرئيسَيْن في البحوث العلمية، كما هو الوضع حاليًا، ويضعا القواعد التي تحدّد مدى سرعة وصول المنتجات الجديدة إلى السوق. وبوسعهما المساعدة أيضًا في إصلاح بعض المشكلات التي لم يتمّ تهيئة السوق للتعامل معها، بما في ذلك التكاليف الخفية التي تفرضها المنتجات المسبِّبة للانبعاثات الكربونية على البيئة وعلى الإنسان.

يُتخذ كثير من هذه القرارات على المستوى الوطني، لكنّ الحكومات الفدرالية والمحلّية تؤدي أيضًا دورًا لا يُستهان به. ففي بلدان كثيرة، تنظّم الحكومات دون الوطنية أسواق الكهرباء وتحدّد معايير استخدام الطاقة في المباني. فهي مسؤولة عن وضع الخطط اللازمة لمشاريع البناء الضخمة، من سدود، وأنظمة عبور، وجسور، وطرق، واختيار مواقع تنفيذ هذه المشاريع والمواد المستخدمة فيها. كما تشتري سيارات رجال الشرطة ورجال الإطفاء وتؤمّن وجبات الغداء المدرسية والمصابيح، بحيث يتعيّن في كلّ خطوة، على شخص ما أن يقرّر ما إذا كان من الممكن استخدام البدائل الخضراء.

قد يبدو من المفارقات الساخرة أن أطالب بمزيد من التدخّل الحكومي. فأثناء بناء شركة مايكروسوفت، كنت حريصًا على الحفاظ على مسافة بيني وبين صانعي السياسات في واشنطن العاصمة وحول العالم، ظنًّا مني أنهم سوف يمنعوننا من تقديم أفضل ما عندنا.

غير أنّ دعوى مكافحة الاحتكار التي أقامتها الحكومة الأميركية ضد مايكروسوفت في التسعينيات جعلتني أدرك إلى حدّ ما بأنه كان علينا أن نتقرّب منذ البداية من صانعي السياسات. كما أدرك تمامًا أنّ المهمات

الواسعة النطاق، كبناء طريق سريع، أو تلقيح الأطفال في العالم أو إزالة الكربون من الاقتصاد العالمي، لا يمكن تنفيذها من دون مشاركة الحكومة في إيجاد اللوازم المناسبة والتأكّد من أنّ النظام ككلّ سيأتي بفائدة على الجميع.

ومن المؤكّد أنه ينبغي على الأفراد والأعمال التجارية تأدية الدور المطلوب منها أيضًا. سأقترح في الفصلين 11 و12 خطة لبلوغ نقطة الصفر، مقرونة بالخطوات المحدّدة التي يمكن للحكومات، والأعمال التجارية والأفراد القيام بها. ولكن بما أن الحكومات ستقوم بدور رئيس، سأقترح أولًا سبعة أهداف رفيعة المستوى يجب السعي إلى تحقيقها.

1. التركيز على الثغرة الاستثمارية

طُرِحَ أوّل فرن مايكرويف في الأسواق سنة 1955. وبلغت كلفته، بحسب القيمة الحالية للدولار، حوالى 12,000 دولار. بوسعك الآن الحصول على مايكرويف من نوعية جيدة مقابل 50 دولارًا.

لماذا أصبحت أفران المايكرويف رخيصة جدًا؟ لأنّ المستهلك أدرك على الفور رغبته في الحصول على جهاز يُسخِّن الطعام خلال ثوانٍ قليلة مقارنة بالفرن التقليدي. ارتفعت مبيعات المايكرويف بسرعة، وارتفعت معها المنافسة في السوق، ما أدّى إلى تصنيع أجهزة أقل تكلفة بكثير.

ليت سوق الطاقة يعتمد الأسلوب نفسه. فالطاقة الكهربائية ليست كفرن المايكرويف، حيث يمكن للمنتج المزوَّد بميزات أفضل أن يطغى على المنتجات الأخرى. يمكن للإلكترون الفاسد تشغيل الأضواء تمامًا مثل الإلكترون النظيف. ما يعني أنه لا تتوافر أيّ ضمانات على أن الشركة التي تستثمر في توفير الإلكترون النظيف ستتمكّن من جني الأرباح، في حال انعدام التدخّل السياسي لتحديد سعر الكربون مثلًا، أو المعايير التي تتطلّب

حجمًا معينًا من الإلكترونات الخالية من الكربون في السوق. لذا، سيكون حجم المخاطرة كبيرًا، لاسيّما وأنّ قطاع الطاقة شديد التنظيم ويعتبر من الصناعات ذات رأس المال المكثّف.

هذا هو السبب الرئيس في تدنّي نسبة استثمار القطاع الخاص في البحوث والتطوير في مجال الطاقة. فالشركات المعنية بالطاقة تنفق بشكل متوسّط 0.3 % من إيراداتها على البحوث والتطوير في مجال الطاقة. في المقابل، تنفق الصناعات المعنية بالإلكترونيات والمستحضرات الصيدلانية حوالى 10 % و13 % على التوالي.

نحتاج إلى سياسات وتمويلات حكومية لسدّ الفجوة، مع التركيز بصورة خاصة على المناطق حيث نحتاج إلى تقنية جديدة مبتكرة خالية من الكربون. عندما تكون الفكرة الجديدة في مراحلها الأولى، أيّ عندما لا نكون واثقين ما إذا كانت ستنجح وما إذا كان تحقيق النجاح سيستغرق وقتًا أطول من قدرة المصارف أو الرأسماليين المغامرين على الانتظار، يمكن للسياسات والتمويلات المناسبة أن تضمن إجراء بحوث وافية. وسواء تبلورت الفكرة وتحوّلت إلى اختراق مميّز أو إلى فشل ذريع، علينا أن نتحمّل العواقب المباشرة لحالات الفشل.

بصورة عامة، يرتكز دور الحكومة على الاستثمار في أعمال البحوث والتطوير عند امتناع القطاع الخاص عن ذلك لعدم تمكّنه من تحديد الفوائد التي قد يجنيها. وبعد أن تتوضّح السُبُل التي من شأنها تحقيق الأرباح للشركة، يستلم القطاع الخاص دفة القيادة. هذا هو المسار الذي تتبعه المنتجات التي نستخدمها بصورة يومية، بما في ذلك الإنترنت، الأدوية المنقذة للحياة، ونظام التموضع العالمي الذي تعتمد عليه أجهزتك الذكية لمساعدتك على التنقّل في

أنحاء المدينة كافة. ولا شك أنّ قطاع الحواسيب الشخصية، بما في ذلك مايكروسوفت، ما بلغ هذا المستوى من النجاح من دون التمويلات التي قدّمتها الحكومات الأميركية للبحوث حول المعالجات الدقيقة الأصغر حجمًا والأكثر سرعة.

في بعض القطاعات، ومنها التكنولوجيا الرقمية، حصلت عملية التسلّم والتسليم بين الحكومة والشركة بشكل سريع نسبيًا. فمع ظهور الطاقة النظيفة، أصبح ذلك يستغرق وقتًا أطول ويتطلّب من الحكومة التزامات مالية أكثر، لأن الأعمال الهندسية والعلمية عالية التكلفة وتستغرق وقتًا طويلًا جدًّا.

وللاستثمارات في البحوث فائدة أخرى: فهي تُسهم في إنشاء شركة تجارية في دولة معينة تصدر منتجاتها إلى دول أخرى. تستطيع مثلًا الدولة رقم واحد استحداث وقود كهربائي ميسور التكلفة وبيعه لمواطنيها أو تصديره إلى الدولة رقم اثنين. فإن كانت الدولة رقم اثنين لا تطمح إلى خفض انبعاثاتها، ستبدأ بإيلاء أهمية أكبر لهذا الأمر لأنّ دولة أخرى تمكّنت من ابتكار وقود أفضل وأقل تكلفة.

وفي الختام، على الرغم من أنّ أعمال البحوث والتطوير تؤتي ثمارها، من الممكن مضاعفة فعاليتها عند اقترانها بالحوافز المهتمة بجانب الطلب. إذ لن تتمكّن أيّ شركة تجارية من تحويل تلك الفكرة الجديدة المنشورة في صحيفة علمية إلى منتج إلَّا في حال كانت واثقة من توافر مشترين على استعداد لشرائه، خاصة في المراحل الأولى، حيث يكون المنتج باهظ الثمن.

2. تكافؤ الفرص

ردّدتُ مررًا وتكرارًا، إلى ما لا نهاية (وربما إلى حدّ الغثيان)، بأننا نحتاج إلى خفض العلاوات الخضراء إلى الصفر. بوسعنا تحقيق بعض ذلك من خلال

الابتكارات التي استعرضتها بشكل مفصّل في الفصول من 4 إلى 8، ومنها على سبيل المثال، جعل إنتاج الفولاذ الخالي من الكربون أقلّ كلفة. لكننا نستطيع أيضًا رفع تكلفة الوقود الأحفوري من خلال دمج الضرر الذي يسبّبه ضمن الأسعار التي ندفعها للحصول عليه.

حاليًا، عندما تُصنّع الشركات المنتجات أو عندما يشتري المستهلكون المنتجات، فإنهم لا يتحمّلون أيّ تكلفة عن الكربون المنبعث في خلال عملية التصنيع، في حين أنّ هذا الكربون يفرض تكلفة حقيقية على المجتمع. يُعرف ذلك بحسب العلماء بالمؤثّرات الخارجية، أو التكلفة التي يتكبّدها المجتمع بدلًا من الشخص أو الشركة المسؤولة عنها. ثمة طرق مختلفة، بما في ذلك فرض ضريبة على الكربون أو برنامج الحدّ الأقصى والاتجار، لضمان دفع بعض هذه التكاليف الخارجية على الأقلّ من أيّ شخص تسبّب بها.

باختصار، بوسعنا خفض العلاوات الخضراء عبر جعل الأشياء الخالية من الكربون أقلّ تكلفة (يشمل ذلك الابتكار التقني)، أو جعل الأشياء التي ينبعث الكربون منها أعلى تكلفة (يشمل ذلك ابتكار السياسات)، أو عبر تطبيق الخيارين معًا. ليس المقصود بذلك معاقبة الناس على غازات الاحتباس الحراري التي يطلقونها، بل إيجاد حافز للمخترعين لابتكار بدائل تنافسية خالية من الكربون. ومن خلال زيادة سعر الكربون تدريجًا ليعكس تكلفته الحقيقية، يمكن للحكومات حثّ المنتجين والمستهلكين على اتخاذ قرارات أكثر كفاءة وتشجيع الابتكار الذي يُسهم في خفض العلاوات الخضراء. من الممكن أن تحاول ابتكار نوع جديد من الوقود الكهربائي إذا كنت تعلم أنه لن يتعرّض للتقويض من خلال البنزين المصطنع البخس الثمن.

3. تخطّي الحواجز غير السوقية

لماذا يأبى أصحاب المنازل التخلّي عن الأفران التي تعمل بالوقود الأحفوري واستبدال الخيارات الكهربائية المنخفضة الانبعاثات بها؟ لأنهم لا يعرفون شيئًا عن البدائل، ولا يتوافر عدد كافٍ من التجّار أو المسؤولين عن التركيبات ليزوّدوهم بهذه المعلومات، كما يعتبر ذلك غير قانوني في بعض الأماكن.

لماذا يرفض المالكون تحديث مبانيهم وتزويدها بتجهيزات أكثر كفاءة؟ لأنّ فواتير الكهرباء يدفعها المستأجر، الذي لا يُسمح له في معظم الأحيان بإدخال أيّ تحديثات، مع الإشارة إلى أنه قد لا يقيم في المأجور لفترة كافية لينعم بفوائدها على المدى الطويل.

لا يرتبط أيّ من هذين العائقين بالتكلفة، بل بالنقص في المعلومات، أو في الموظفين المدربين أو في الحوافز، أيّ في الميادين حيث يمكن للسياسات الحكومية الملائمة أن تحدث فرقًا كبيرًا.

4. البقاء على اطّلاع على آخر المستجدّات

أحيانًا، لا يكمن العائق الأساسي في توعية المستهلك أو في الأسواق التي تحتاج إلى إصلاح، بل في السياسات الحكومية نفسها التي تجعل عملية إزالة الكربون صعبة.

فعلى سبيل المثال، إذا أردت استخدم الخرسانة في البناء، ستجد في قانون البناء تفاصيل دقيقة جدًّا حول أداء الخرسانة، ومدى قوّتها، والوزن الذي بإمكانها تحمّله وإلى ما هنالك. كما يحدّد التركيبة الكيميائية الدقيقة للخرسانة التي بإمكانك استخدامها. غير أنّ معايير هذه التركيبات تستبعد في معظم الأحيان الخرسانة ذات الانبعاثات المنخفضة، حتى وإن كانت تفي بكلّ معايير الأداء.

لا أحد يرغب مطلقًا برؤية المباني أو الجسور تنهار بسبب خلل في الخرسانة. إلَّا أننا نستطيع الحرص على أن تعكس المعايير التطوّرات الأخيرة في حقل التكنولوجيا وضرورة الوصول إلى نقطة الصفر.

5. التخطيط للمرحلة الانتقالية

إن هذا التحوّل الشامل إلى اقتصاد محايد كربونيًا من شأنه أن ينتج رابحين وخاسرين في آن. ففي الولايات المتحدة، ستحتاج الولايات التي يعتمد اقتصادها بشكل مكثّف على التنقيب بحثًا عن الوقود الأحفوري كتكساس وداكوتا الشمالية، إلى إيجاد مزيد من الوظائف بأجور، إضافة إلى تلك التي خسرتها، كما عليها أن تستبدل العائدات الضريبية المخصّصة للمدارس، والطرق، وسواها من المرافق الحيوية. وينطبق الأمر أيضًا في الولايات التي تشتهر بتربية الماشية ومنها نبراسكا، متى حلّت اللحوم التقليدية محلّ اللحوم الاصطناعية. وسيشعر الأشخاص ذوو الدخل المنخفض الذين ينفقون جزءًا كبيرًا من دخلهم لتوفير الطاقة، بعبء العلاوات الخضراء أكثر من سواهم.

كنت أتمنى لو كان بإمكاني إيجاد إجابات سهلة عن هذه الأسئلة. من المؤكّد أنّ بعض المجتمعات ستستبدل بوظائف قطاع الطاقة الشمسية، مثلًا، وظائف في قطاعي الغاز والنفط العالية الأجور. ولكنّ الكثيرين سيمرون حتمًا بمرحلة انتقالية صعبة ليتمكّنوا من كسب عيشهم من مصدر آخر مختلف عن استخراج الوقود الأحفوري. وبالنظر إلى اختلاف الحلول من مكان إلى آخر، يجب على القادة المحلّيين تحديد شكل الوظائف الجديدة، لاسيّما وأن الحكومة الفدرالية لا يسعها المساعدة إلَّا ضمن إطار الخطة الشاملة لبلوغ نقطة الصفر، عبر توفير التمويل والمشورة التقنية وتحقيق التواصل بين

المجتمعات التي تواجه مشكلات مماثلة، في مختلف أنحاء العالم، لتتمكّن من تبادل خبراتها.

وفي الختام، من البديهي في المجتمعات حيث استخراج الفحم أو الغاز الطبيعي يشكل جزءًا كبيرًا من الاقتصاد المحلي، أن يشعر الناس بالقلق بشأن عملية التحوّل حيث قد يواجهون صعوبة في تلبية احتياجاتهم. ولكن التعبير عن مخاوفهم لا يعني أنهم منكرو التغيُّر المناخي. ولا يفترض بك أن تكون خبيرًا في الشؤون السياسية لتدرك بأن القادة الوطنيين الذين يؤيّدون الرحلة نحو نقطة الصفر سيجدون مزيدًا من الدعم لأفكارهم في حال أظهروا تفهمًا لشواغل الأُسر والمجتمعات التي ستتأثّر مصادر عيشها بشدّة وأخذوا تلك الشواغل على محمل الجدّ.

6. القيام بالأشياء الصعبة أيضًا

كثيرٌ من الأعمال المتعلّقة بالتغيُّر المناخي تركّز على السُبُل السهلة نسبيًا لخفض الانبعاثات، كقيادة السيارات الكهربائية، والتزوّد بالطاقة من الشمس والريح. يبدو ذلك منطقيًا لأنّ تبيان التقدّم المحرز وإثبات النجاح المبكر يساعد على استقطاب مزيد من الناس. والأهمّ من ذلك هو أننا لا نطبّق الأمور السهلة نسبيًّا ضمن النطاق الذي نتطلّع إليه، لذا، يمكن القول إنّ الفرص المتاحة حاليًّا لتحقيق تقدّم كبيرٍ هائلة.

غير أننا لا نستطيع السعي وراء تلك الفاكهة الدانية. فبعد اكتساب التحرّك الداعي إلى معالجة مسألة التغيُّر المناخي طابعًا جديًّا، علينا التركيز على الخيارات الصعبة أيضًا: تخزين الكهرباء، استعمال الوقود، والإسمنت، والفولاذ والأسمدة النظيفة وسوى ذلك. ما يتطلّب مقاربة مختلفة لصناعة السياسات. وإلى جانب تعميم استخدام الأدوات المتوافرة لدينا، علينا زيادة

الاستثمار في أعمال التطوير والبحث في الأمور الصعبة، لاسيّما وأنّ معظمها مهم للبنى التحتية المادية، كالطرق والمباني، وتطبيق السياسات المصمّمة خصيصًا لتحقيق تلك الاختراقات وتسويقها.

7. العمل على تكامل التكنولوجيا والسياسات والأسواق

إضافة إلى التكنولوجيا والسياسات، علينا أن نأخذ بالاعتبار جانبًا ثالثًا، يتمثّل في الشركات التي ستعمل على تطوير الابتكارات الجديدة والتحقّق من تسويقها على نطاق واسع، فضلًا عن المستثمرين والأسواق المالية الداعمة لتلك الشركات. وفي ظلّ عدم توافر تعبير أفضل، سأجمع هذه الفئة ضمن عبارة «أسواق».

تعتبر الأسواق، والتكنولوجيا والسياسات مثابة الأذرع الثلاث التي نحتاج إلى سحبها لنتمكّن من الإقلاع عن الاعتماد على الوقود الأحفوري. علينا سحب الأذرع الثلاث في آن وفي الاتجاه نفسه.

فتبنّي سياسة معينة، كمعايير الانبعاثات الصفرية للسيارات، لن تفي وحدها بالغرض في حال عدم توافر التكنولوجيا اللازمة للتخلّص من الانبعاثات، أو في حال عدم وجود شركات مستعدّة لتصنيع السيارات التي تفي بهذه المعايير وبيعها. بمعنى آخر، لا يمكن لأيّ تقنية ذات انبعاثات منخفضة، كالجهاز الذي يلتقط الكربون من عادم مصنع للفحم، أن تحقّق الغاية المنشودة إلّا في حال إيجاد حوافز مالية لشركات الطاقة لتركيبه. ومن الصعب أن يراهن عدد كبير من الشركات على تقنية الانبعاثات الصفرية في حال قرّرت الشركات المنافسة بيع منتجات الوقود الأحفوري بأسعار زهيدة جدًّا.

لهذا السبب، على الأسواق، والسياسات والتكنولوجيا، العمل ضمن إطار تكاملي. فالسياسات الرامية مثلًا إلى زيادة الإنفاق على أعمال البحوث

والتطوير، تُسهم في إشعال شرارة التقنيات الجديدة وتحديد شكل أنظمة السوق التي ستضمن وصولها إلى ملايين الأشخاص. غير أنه من الممكن القيام بذلك بطريقة مختلفة: إذ يمكن تحديد شكل السياسات من خلال التقنيات التي نعمل على تطويرها. ففي حال توصّلنا، على سبيل المثال، إلى إحراز اختراق في ابتكار سائل متطوّر، ستركّز عندها سياساتنا على إنشاء استراتيجيات الاستثمار والتمويل لتمكينه من بلوغ النطاق العالمي، ولا داعي بعدها للقلق، مثلًا، بشأن إيجاد طرق جديدة لتخزين الطاقة.

سأعطيك بعض الأمثلة عمّا يمكن أن يحدث في حال تكامل هذه العناصر الثلاثة وفي حال عدم تكاملها.

يكفي أن تنظر مثلًا إلى صناعة الطاقة النووية لمعرفة تأثير السياسات التي لا تواكب التكنولوجيا. فالطاقة النووية هي مصدر الطاقة الوحيد الخالي من الكربون الذي باستطاعتنا استخدامه في معظم الأماكن، على مدار الساعة، 7 أيام في الأسبوع. وتعمل مجموعة من الشركات، بما في ذلك «تيرا باور»، على تطوير مفاعلات متقدّمة من شأنها معالجة المشكلات المترتّبة عن التصميم البالغ من العمر 50 عامًا والمستخدم في المفاعلات الحالية: فتصميمها أكثر أمانًا وأقلّ كلفة، كما أنّ نسبة النفايات التي تتسبّب بها أقلّ بكثير. ولكن في ظلّ انعدام السياسات الملائمة والمقاربة الصحيحة للأسواق، لن يتقدّم العمل العلمي والهندسي على هذه المفاعلات المتقدّمة قيد أنملة.

فلا يمكن بناء أيّ محطة نووية متقدمة على الإطلاق ما لم يجرِ التحقّق من صحة التصميم، وإثبات سلاسل التوريد، وبناء مشروع تجريبي لإثبات المقاربة الجديدة. وباستثناء عدد قليل منها مثل الصين وروسيا اللتين تستثمران بشكل مباشر في الشركات النووية المتقدّمة المدعومة من الدولة،

من المؤسف أنّ معظم البلدان لا تملك طرائق عملية وسبلًا لتطبيق ذلك. سيكون من المفيد أن تظهر بعض الحكومات استعدادها للمشاركة في الاستثمار فيها للمساعدة في إنشاء مشاريع إيضاحية وتشغيلها، على غرار ما فعلت الحكومة الأميركية مؤخرًا. أدرك بأنّ ذلك قد يبدو أشبه بخدمة ذاتية، بالنظر إلى أنني أملك شركة متطوّرة للطاقة النووية، ولكنه السبيل الوحيد لتمكين الطاقة النووية من المساعدة في مشكلة التغيُّر المناخي.

يطرح مثال الوقود الحيوي تحدّيًا من نوع مختلف: التأكّد من إدراكنا للمشكلة التي نسعى إلى حلّها وضبط سياساتنا بما يتوافق مع ذلك.

ففي العام 2005، وفي ظل ارتفاع أسعار النفط والرغبة في استيراد كميات أقلّ منه، أقرّ الكونغرس معيار الوقود المتجدِّد، الذي حدّد أهدافًا لكمية الوقود الحيوي التي ستستخدمها البلاد في السنوات المقبلة. اعتُبر إصدار هذا التشريع مثابة رسالة قوية اللهجة إلى قطاع النقل الذي استثمر مبالغ كبيرة في تكنولوجيا الوقود الحيوي القائمة في تلك المرحلة والمتمثّلة في الإيثانول المستخرج من الذرة. كان إيثانول الذرة منافسًا قويًا إلى حدٍّ ما للبنزين، لأنّ أسعار النفط كانت تشهد ارتفاعًا وحاول منتجو الإيثانول الاستفادة من الإعفاء الضريبي الذي يعود إلى عقود مضت.

حقّقت السياسة النجاح المطلوب بحيث جاوز إنتاج الإيثانول بسرعة الأهداف التي حدّدها الكونغرس؛ يحتوي حاليًا غالون البنزين المباع في الولايات المتحدة حوالى 10 % من الإيثانول.

وفي العام 2007، قرّر الكونغرس تشريع استخدام الوقود الحيوي لحلّ مشكلة مختلفة. إذ لم تعد المشكلة مرتبطة بارتفاع أسعار النفط فحسب، بل بالتغيُّر المناخي كذلك. فضاعفت الحكومة أهداف الوقود الحيوي كما طالبت

بأن يكون حوالى 60 % من مجمل الوقود الحيوي المباع في الولايات المتحدة مصنوعًا من نشويات أخرى غير الذرة. (يعمل الوقود الحيوي المصنوع بهذه الطريقة على خفض الانبعاثات ثلاث مرّات أكثر من الوقود الحيوي التقليدي). تمكّنت المصافي بسرعة قياسية من تحقيق هدف الوقود الحيوي التقليدي المستخرج من الذرة فيما تخلّفت البدائل المتقدّمة عن تحقيق هدفها.

لماذا؟ يعود ذلك بشكل جزئي إلى أنّ علم الوقود الحيوي المتقدّم صعب للغاية. كما أنّ أسعار النفط بقيت منخفضة نسبيًّا، ما جعل من الصعب تبرير الاستثمارات الكبيرة في بديل سيكون أكثر تكلفة. غير أنّ السبب الرئيس هو في كون الشركات المنتِجة لهذا الوقود الحيوي، والمستثمرين الداعمين لها لا يملكون أيّ ضمانات للسوق.

توقَّع القسم التنفيذي نقصًا في الإمداد بالوقود الحيوي المتقدّم، ما دفعه إلى الاستمرار في خفض الأهداف المتوخاة. ففي العام 2017، انخفض الهدف المتوخى من 5.5 مليار غالون إلى 311 مليون غالون. وكان يتمّ في بعض الأحيان الإعلان عن الأهداف المتوخاة في وقت متأخر من السنة بحيث لا يتسنّى للمنتجين أن يحدّدوا إلى أيّ مدى يمكنهم الاعتماد على المبيعات. إنها حلقة مفرغة: خفضت الحكومة الحصة المحدّدة لأنها توقّعت نقصًا في الإمداد، في حين أنّ النقص هو ثمرة تمادي الحكومة في خفض الحصة المحدّدة.

العبرة هنا هي أنّ صانعي السياسات في حاجة إلى أن يكونوا واضحين بشأن الهدف المتوخّى الذي يطمحون إلى تحقيقه فضلًا عن الإلمام بالتقنيات التي يسعون للترويج لها. لا شك أنّ تحديد الهدف المتوخّى من الوقود الحيوي يشكّل محاولة جيدة لتقليل كمية النفط التي تحتاج الولايات المتحدة لاستيرادها، بالنظر إلى وجود تقنية قائمة، تتمثّل في إيثانول الذرة، قادرة على

تلبية الهدف المتوخّى. فالسياسة أسهمت في إطلاق الابتكار، وتطوير السوق، والارتقاء به. لكنّ تحديد الهدف المتوخّى للوقود الحيوي لم يكن وسيلة فعالة بشكل خاص لخفض الانبعاثات، لأنّ صانعي السياسات لم يأخذوا بالاعتبار أنّ التكنولوجيا الملائمة، المتمثّلة في الوقود الحيوي المتقدّم، ما تزال في مراحلها الأولى ولم يحاولوا خلق عنصر اليقين في حاجة السوق إلى الخروج من المراحل المبكرة.

لنلقِ معًا نظرة على قصة نجاح حيث السياسة والتكنولوجيا والأسواق تعاونت بشكل أفضل. ففي بداية السبعينيات من القرن الماضي، بدأت اليابان، والولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي بتمويل مشروع بحثي حول الطرق المختلفة لتوليد الطاقة من أشعة الشمس. ولكن في بداية التسعينيات، شهدت تقنية الطاقة الشمسية تطوّرًا كافيًا بحيث بدأ مزيد من الشركات بتصنيع الألواح على الرغم من أنّ الطاقة الشمسية لم تكن معتمَدة على نطاق واسع.

أعطت ألمانيا السوق زخمًا عبر تقديم قروض منخفضة الفائدة لتركيب الألواح وإمكانية تخفيض تعرفة التغذية الكهربائية، التي هي عبارة عن دفعة حكومية ثابتة لكل وحدة من الكهرباء المولَّدة من مصادر الطاقة المتجدّدة، وذلك لكلّ من يولّد فائضًا من الطاقة الشمسية. وفي العام 2011، استخدمت الولايات المتحدة ضمانات القروض لتمويل أكبر خمس مصفوفات للطاقة الشمسية في البلاد، حيث كانت الصين لاعبًا رئيسًا في إيجاد طرق بارعة لجعل الألواح الشمسية أقلّ تكلفة. وبفضل كلّ هذا الابتكار، انخفض سعر الكهرباء المولَّدة بالطاقة الشمسية بنسبة 90 % منذ العام 2009.

تعتبر طاقة الرياح مثالًا آخر جيدًا. فخلال العقد المنصرم، شهدت القدرة المثبتة لطاقة الرياح ارتفاعًا بنسبة 20 % سنويًا، بحيث توفّر حاليًا عنفات الرياح حوالى 5 % من الكهرباء في العالم. يعود نمو الطاقة الريحية لسبب واحد بسيط: تكلفتها المنخفضة. فقد أعلنت الصين، التي يحتلّ توليدها للطاقة الريحية حيّزًا كبيرًا ومتناميًا في العالم، أنها ستتوقّف قريبًا عن دعم مشاريع الرياح الساحلية لأنّ الكهرباء التي تولّدها ستكون قليلة الكلفة تمامًا مثل الطاقة المولَّدة من المصادر التقليدية.

لنتمكّن من فهم كيفية الوصول إلى هذه النقطة، بوسعنا مثلًا أن نستعرض مثال الدنمارك. في خضمّ أزمة الطاقة في السبعينيات من القرن الماضي، وضعت الحكومة الدنماركية عددًا من السياسات التي من شأنها تعزيز طاقة الرياح واستيراد كميات أقل من النفط. واستثمرت الحكومة، من بين أمور أخرى، أموالًا كثيرة في أعمال البحوث والتطوير في مجال الطاقة المتجدّدة. لم تكن الدنمارك الدولة الوحيدة التي فعلت ذلك (في تلك الحقبة تقريبًا، بدأت الولايات المتحدة بتشغيل العنفات الريحية على نطاق واسع في أوهايو)، لكن الدنماركيين أقدموا على خطوة غير مألوفة. إذ حرصوا على أن يكون دعم أعمال البحوث والتطوير مقرونًا بتعرفة التغذية الكهربائية، ومن ثمّ بضريبة الكربون.



أسهمت الدنمارك في تمهيد الطريق لجعل طاقة الريح ميسورة التكلفة. هذه العنفات الريحية متوافرة في جزيرة سامسو.

وبعد أن تبعتها بعض الدول مثل إسبانيا، بدأت صناعة الرياح بالاتجاه نزولًا على منحنى التعلّم. فقد أصبح لدى الشركات الحافز لتطوير دوارات أكبر وآلات ذات سعة أعلى بحيث يمكن لكلّ عنفة إنتاج مزيد من الطاقة، كما بدأت في بيع مزيد من الوحدات. بمرور الوقت، انخفضت تكلفة عنفات الرياح

بشكل كبير، وانخفضت معها أيضًا تكلفة الكهرباء المولَّدة من الرياح: في الدنمارك، انخفضت هذه التكلفة بمقدار النصف بين العامين 1987 و2001. وتؤمّن حاليًا الرياح البحرية والبرية حوالى نصف حاجة البلاد للطاقة، كما تُعدّ أكبر مصدر لعنفات الرياح في العالم.

على سبيل التوضيح، لا يتمثّل الهدف الرئيس من هذه القصص في الاستنتاج بأنّ الطاقة الشمسية وطاقة الرياح هما الحلّ لكلّ احتياجاتنا من الكهرباء. (بل هما تشكلان حلًا لبعض احتياجاتنا من الكهرباء. راجع الفصل 4)، فالأهم من ذلك كلّه هو أنّ التركيز على العناصر الثلاثة في وقت واحد، أيّ التكنولوجيا والسياسات والأسواق، من شأنه أن يُسهم في تشجيع الابتكار والحثّ على إنشاء شركات جديدة والحصول على منتجات جديدة في السوق بشكل سريع.

فكلّ خطة معنية بالتغيُّر المناخي يجب أن تأخذ بالاعتبار كيفية عمل هذه العناصر الثلاثة معًا. وسأقترح في الفصل التالي خطة قادرة على تحقيق ذلك بالضبط.

الفصل الحادي عشر

خطة لبلوغ نقطة الصفر

أثناء مشاركتي في مؤتمر الأمم المتحدة للتغيُّر المناخي في باريس في العام 2015، لم يسعني إلَّا أن أتساءل: هل بوسعنا حقًّا القيام بذلك؟

كان ملهمًا أن نرى قادة من جميع أنحاء العالم مجتمعين معًا لتبنّي الأهداف الخاصة بالمناخ حيث التزمت معظم الدول تقريبًا خفض انبعاثاتها. ولكن مع إظهار استطلاعات الرأي الواحد تلو الآخر بأن التغيُّر المناخي ما يزال قضية سياسية هامشية (في أفضل الحالات)، خشيت ألَّا تتوفر لدينا الإرادة أبدًا لإنجاز هذا العمل الشاق.

ولكن يسعدني أن أقول إنّ اهتمام العامّة بتغيُّر المناخ قد ازداد أكثر مما كنت أتخيّل بكثير. فخلال السنوات القليلة الماضية، شكّل الحوار العالمي حول التغيُّر المناخي تحوّلًا استثنائيًّا نحو الأفضل. فالإرادة السياسية تسجّل نموًّا على المستويات كافة حيث يطالب الناخبون في جميع أنحاء العالم باتخاذ إجراءات فيما تلتزم المدن والدول إجراء تخفيضات هائلة من شأنها دعم (أو، كما هي الحال في الولايات المتحدة، الحلول محل) أهدافها الوطنية.

ما نحتاج إليه الآن هو إقران هذه الأهداف بخطط محدّدة لتحقيقها، تمامًا كما حصل في أوائل عهد شركة مايكروسوفت، حيث وضعنا أنا وپول ألن نصب أعيننا هدفًا محدّدًا (يقضي إن جاز التعبير بوضع «جهاز كمبيوتر في كلّ مكتب وفي كلّ منزل») وسعينا خلال العقد التالي إلى وضع خطة وتطبيقها بغية تحقيق هذا الهدف. ظنّ الناس أننا فقدنا صوابنا لكِبَر حلمنا، لكنّ هذا التحدّي لا يعتبر مهمًّا مقارنة بما تتطلّبه معالجة التغيُّر المناخي، وهي مهمة عسيرة وضخمة تشمل مجموعة كبيرة من الناس والمؤسسات في جميع أنحاء العالم.

تطرّقتُ في الفصل العاشر إلى الدور الذي ينبغي على الحكومات تأديته على مستوى تحقيق هذا الهدف. أما في الفصل الحالي، فسوف أستعرض خطة من شأنها مساعدتنا على اجتناب الكارثة المناخية مع التركيز على الخطوات المحدّدة التي يمكن للقادة الحكوميين وصانعي السياسات القيام بها. (يمكن الاطّلاع على مزيد من التفاصيل عن كلّ من العناصر المشار إليها أدناه على الموقع التالي breakthroughenergy.org). أما في الفصل التالي، فسوف أحدّد الخطوط التمهيدية لما يمكن أن يفعله كلّ منّا كأفراد لدعم هذه الخطة.

كم من الوقت سيستغرقنا لبلوغ نقطة الصفر؟ بالاستناد إلى العلوم، على الدول الثرية بلوغ الصافي الصفري للانبعاثات بحلول العام 2050 لتجنيب العالم كارثة مناخية. وأظنك سمعت من يقولون إن بإمكاننا إزالة الكربون في وقت أقرب، أيّ حوالى العام 2030.

يؤسفني القول، انطلاقًا من الأسباب كافة التي استعرضتها في هذا الكتاب، إنّ العام 2030 ليس واقعيًّا. ففي ظلّ المكانة الهامة التي يحتلّها

الوقود الأحفوري في شؤوننا الحياتية، من الصعوبة بمكان التوقّف عن استخدامه على نطاق واسع في غضون عقد من الزمن.

لا شك أنّ ما يمكن لنا فعله - وما نحتاج إلى فعله - في السنوات العشر المقبلة، هو اعتماد السياسات التي من شأنها أن تساعدنا على سلوك المسار الصحيح لنتمكّن من إزالة الكربون بحلول العام 2050.

إن التمييز على هذا المستوى أساسي، على الرغم من أنه لا يتّضح على الفور. في الواقع، قد يبدو لنا أنّ عملية «خفض الانبعاثات بحلول العام 2030» مكمّلة لعملية «بلوغ نقطة الصفر بحلول العام 2050». هل يمكن اعتبار العام 2030 مثابة محطة في الطريق إلى العام 2050؟

ليس بالضرورة. فخفض الانبعاثات بحلول العام 2030 بطريقة غير صحيحة قد يحول في الواقع دون بلوغنا نقطة الصفر.

لماذا؟ لأنّ الخطوات التي نتخذها لنتمكّن من خفض الانبعاثات بشكل بسيط بحلول العام 2030 تختلف كليًا عن الخطوات التي نقوم بها لبلوغ نقطة الصفر بحلول العام 2050. فالمساران مختلفان تمامًا، ومقاييس النجاح فيهما تختلف بشكل كلّي، وبالتالي علينا الاختيار بينهما. من الجيد أن نحدّد أهدافًا للعام 2030، ولكن الأهمّ هو أن تشكل هذه الأهداف معالم رئيسة في الطريق نحو بلوغ نقطة الصفر بحلول العام 2050.

سأستعرض في ما يلي الأسباب. إذا عزمنا على خفض الانبعاثات إلى حدٍّ ما بحلول العام 2030، سنركّز على الجهود التي قد تقودنا إلى تحقيق هذا الهدف، حتى وإن كانت هذه الجهود ستجعل من الصعب أو من المستحيل الوصول إلى الهدف النهائي المتمثّل في بلوغ نقطة الصفر.

فإذا كان مثلًا «خفض الانبعاثات بحلول العام 2030» هو المقياس الوحيد للنجاح، قد يكون من المغري استبدال محطات تعمل بالغاز بمحطات الطاقة التي تعمل بالفحم، لاسيّما وأنّ ذلك سيُسهم في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. لكنّ محطات الطاقة التي تعمل بالغاز التي سيتم بناؤها ما بين تاريخنا الحالي والعام 2030 ستبقى قيد التشغيل بحلول العام 2050، بحيث يجب تشغيلها لعقود من أجل تعويض تكلفة بنائها مع العلم أنّ معامل الطاقة التي تعمل بالغاز الطبيعي تُطلق غازات الاحتباس الحراري. صحيح أن هذه الخطوة من شأنها أن تحقّق هدفنا المتمثّل في «خفض الانبعاثات بحلول العام 2030» ولكن الأمل في بلوغ نقطة الصفر سيكون ضئيلًا.

من ناحية أخرى، إذا اعتبرنا أنّ هدفنا المتمثّل في «خفض الانبعاثات بحلول العام 2030» هو معلم رئيس في طريقنا إلى «بلوغ نقطة الصفر بحلول العام 2050»، قد يكون من المنطقي إنفاق قليل من المال أو الوقت للتحوّل من استعمال الفحم إلى الغاز. وبوسعنا عوضًا عن ذلك، السعي إلى تحقيق استراتيجيتين في آن: تتمثّل الأولى في توفير طاقة كهربائية خالية من الكربون، موثوقة وميسورة التكلفة، فيما تتمثّل الاستراتيجية الثانية في العمل على الترويج لتقنية الشحن بالكهرباء على أوسع نطاق ممكن، بدءًا من السيارات وصولًا إلى العمليات الصناعية والمضخات الحرارية، حتى في الأماكن التي تعتمد حاليًّا على الوقود الحراري للتزوّد بالكهرباء.

إذا كنا نعتقد بأنّ النقطة الأهم هي خفض الانبعاثات بحلول العام 2030، ستخفق هذه المقاربة لا محالة لأنها لن تؤدّي سوى إلى خفض الانبعاثات بشكل هامشي في خلال عقد من الزمن. إلّا أننا نكون قد وضعنا أنفسنا على طريق النجاح على المدى الطويل: فمع كلّ اختراق لتوليد الطاقة النظيفة وتخزينها وتوفيرها، سنقترب أكثر فأكثر من نقطة الصفر.

لذا، في حال كنت تبحث عن معيار لتحديد الدول التي تحرز تقدّمًا على مستوى التغيُّر المناخي وتلك التي لا تحقّق أيّ تقدّم على الإطلاق، من الأفضل وبكل بساطة ألَّا تضع في الحسبان تلك التي تقلّل انبعاثاتها؛ بل تلك التي تسعى لبلوغ نقطة الصفر. صحيح أنها قد لا تشهد أيّ تغيير على صعيد انبعاثاتها في الوقت الحالي، لكنها تستحق الثناء لأنها وضعت أقدامها على المسار الصحيح.

أتفق في هذا السياق مع مناصري العام 2030 على أمر واحد: إنها مسألة طارئة وتتطلّب خطوات سريعة. فنحن اليوم على مستوى التغيُّر المناخي، عند النقطة نفسها التي وصلنا إليها لعدة سنوات خلت لجهة الأوبئة. إذ كان الخبراء المعنيون بالصحة يرددون باستمرار أن التفشي الواسع النطاق سيكون حتميًّا بالفعل. وعلى الرغم من تحذيراتهم، لم يتخذ العالم إجراءات كافية للاستعداد، بحيث وجد نفسه فجأة مرغمًا على التهافت للتعويض عن الوقت الضائع. علينا ألَّا نرتكب الخطأ نفسه على مستوى التغيُّر المناخي. وبما أننا نحتاج إلى هذه الاختراقات قبل العام 2050، وفي ظل إدراكنا بأن تطوير مصادر جديدة للطاقة وطرحها في السوق يستغرق وقتًا طويلًا، علينا أن نباشر منذ هذه اللحظة. فإذا بدأنا الآن سنتمكّن من اجتناب تكرار الأخطاء التي ارتكبناها من خلال التقاعس عن الاستعداد للأوبئة، وذلك بالاعتماد على قوّة العلم والابتكار والحرص على أن تكون الحلول ملائمة للفئات الأكثر فقرًا. في ما يلي عرض للخطة التي ستضعنا على هذا المسار.

الابتكار وقانون العرض والطلب

أشرت في بداية الكتاب، وآمل أن تكون الفكرة قد اتّضحت في الفصول المتداخلة، إلى أنّ الخطة المناخية الشاملة يجب أن تشمل كثيرًا من

المجالات المختلفة. ففي حين أنّ علم المناخ يطلعنا على الأسباب الداعية للتعامل مع هذه المشكلة، إلَّا أنه لا يتطرّق إلى كيفية التعامل معها. لهذا السبب، نحن في حاجة إلى علم الأحياء، والكيمياء، والفيزياء، والعلوم السياسية، والاقتصاد، والهندسة، والعلوم الأخرى. هذا لا يعني بالضرورة أنه ينبغي على الجميع أن يكون على دراية بكافة الموضوعات، أكثر مما كنا پول وأنا على دراية بالتسويق، وإقامة الشراكات مع الشركات، أو التعامل مع الحكومات في بداية المشروع. فما كانت مايكروسوفت بحاجة إليه، وما نحتاج حاليًا إليه لمعالجة مشكلة التغيُّر المناخي، هو مقاربة تتيح لكثير من المجالات المختلفة مساعدتنا لسلوك المسار الصحيح.

في الطاقة والبرمجيات، كما في أيّ مسعى آخر، من الخطأ التفكير في الابتكار من الناحية التكنولوجية الصرف. فالابتكار لا يشمل ابتكار آلة أو عملية جديدة، بل يشمل أيضًا وضع مقاربات جديدة لنماذج الأعمال، وسلاسل التوريد، والأسواق، والسياسات التي من شأنها أن تبعث الحياة في الابتكارات والبحوث الجديدة على المستوى الشامل. وأقصد بالابتكارات الأجهزة الجديدة وأساليب جديدة في الأداء.

بعد أن وضعت هذه الأحكام في الحسبان، قمت بتقسيم العناصر المختلفة لخطتي إلى مجموعتين. قد تبدو هاتان المجموعتان مألوفتين بالنسبة إلى من درس مقرّر الاقتصاد 101 (مبادئ الاقتصاد الكلي): تشمل المجموعة الأولى توسيع رقعة توريد الابتكارات، والمقصود بذلك عدد الأفكار الجديدة التي يتم اختبارها، فيما تشمل المجموعة الثانية تسريع الطلب على الابتكارات. ترتبط المجموعتان معًا في لعبة من الشدّ والدفع: ففي حال

انعدام الطلب على الابتكار، لن يجد المخترعون وصانعو السياسات أيّ حافز لطرح أفكار جديدة؛ وفي حال انعدام التوريد المستدام للابتكارات، لن تتوافر لدى المشترين المنتجات الخضراء التي يحتاج العالم إليها لبلوغ نقطة الصفر.

أعلم جيدًا أنّ الأمر يبدو أشبه بنظرية إدارة الأعمال، إلَّا أنها نظرية عملية جدًّا. ترتكز مقاربة مؤسسة غيتس الشاملة لإنقاذ الحياة على فكرة أساسية تقضي بضرورة تعزيز الابتكار لدى الأكثر فقرًا مع زيادة الطلب عليه. ففي مايكروسوفت، قمنا بإنشاء مجموعة معنية بشكل حصري بالبحوث، مجموعة شكّلت مصدر فخر لي حتى تاريخه. تقضي مهمة هذه المجموعة بشكل أساسي بزيادة توريد الابتكارات. كما صرفنا وقتًا هائلًا في الإصغاء إلى الزبائن لمعرفة ما يرغبون توافره في البرمجيات؛ هذا هو الجانب المتعلّق بالطلب على الابتكار، الذي وفّر لنا معلومات أساسية لتشكيل جهودنا البحثية.

توسيع رقعة توريد الابتكارات

يقتصر العمل في هذه المرحلة الأولى على البحوث الكلاسيكية والتطوير، حيث يتعاون كبار العلماء والمهندسين لاختراع التقنيات التي نحتاج إليها. على الرغم من توافر عدد من الحلول التنافسية المنخفضة الانبعاثات الكربونية، ما نزال نفتقر إلى مجمل التقنيات التي نحتاج إليها لبلوغ نقطة الصفر على المستوى العالمي. ذكرت في الفصول 4 إلى 9 التقنيات الأكثر أهمية التي ما نزال في حاجة إليها: وإليك في ما يلي عرض سريع للقائمة على سبيل الرجوع إليها (يمكنك إضافة عبارة «ميسور التكلفة بما يكفي لتمكين الدول المنخفضة الدخل من شرائه):

التقنيات المطلوبة

إنتاج الهيدروجين من دون التسبّب بانبعاث الكربون	التقاط الكربون (التقاط الكربون بشكل مباشر ونقاط الالتقاط)
إمكانية تخزين الكهرباء على مستوى الشبكة لمدّة فصل بكامله	إمداد الكهرباء تحت الأرض
وقود كهربائي	بلاستيك خالٍ من الكربون
وقود حيوي متقدّم	طاقة حرارية جوفية
إسمنت خالٍ من الكربون	تخزين حراري
فولاذ خالٍ من الكربون	طاقة كهرمائية بالضخ
لحوم ومشتقات الحليب النباتية والمصنّعة	محاصيل غذائية مقاوِمة لحالات الجفاف والفيضانات
أسمدة خالية من الكربون	بدائل لزيت النخيل خالية من الكربون
انشطار نووي من الجيل الثاني	مبرّدات لا تحتوي على غازات مفلورة
انصهار نووي	

في سبيل تهيئة هذه التقنيات بالسرعة الكافية لتحقيق فرق، على الحكومات القيام بما يأتي:

1. مضاعفة الطاقة النظيفة وأعمال البحوث والتطوير المتعلقة بالمناخ بمعدل خمسة أضعاف في خلال العقد التالي. يعتبر الاستثمار العام المباشر في أعمال البحوث والتطوير من الخطوات المهمة التي بإمكاننا القيام بها لمكافحة التغيُّر المناخي، على الرغم من أنّ الحكومات لا توليه الاهتمام

اللازم. إذ تبلغ قيمة التمويل الحكومي لأعمال البحوث والتطوير الخاصة بالطاقة النظيفة حوالى 22 مليار دولار سنويًا، أيّ ما يقرب من 0.02 % من الاقتصاد العالمي. ينفق الأميركيون أكثر من ذلك المبلغ بكثير لتأمين البنزين في شهر واحد. وتنفق الولايات المتحدة، التي تعدّ المستثمر الأبرز في العالم في بحوث الطاقة النظيفة حوالى 7 مليارات سنويًا.

كم تبلغ قيمة المبلغ الذي يجب إنفاقه؟ أظنّ أنّ معهد الصحة الوطني يعدّ مقارنة جيدة. فقد تمكّن معهد الصحة الوطني الذي تبلغ ميزانيته حوالى 37 مليار دولار في السنة، من تطوير أدوية وعلاجات منقذة للحياة يستخدمها الأميركيون ومعظم الناس في العالم بشكل يومي. إنه خير نموذج ومثال عن الطموح الذي نحتاج إليه لتحقيق التغيُّر المناخي. وفي حين أنّ مضاعفة ميزانية أعمال البحوث والتطوير خمسة أضعاف قد تعني توفير كثير من النقود، سيفقد المبلغ أهميته مقارنة بحجم التحدّي، ما يشكّل مؤشّرًا قويًّا لمدى جدية الحكومة في تعاطيها مع المشكلة.

2. زيادة الرهانات على مشاريع البحوث والتطوير العالية الخطورة والتي تأتي بثمار جيدة. لا يتوقّف الأمر على حجم الأموال التي تنفقها الحكومات، بل أيضًا على ما تنفقها عليه.

ففي مرحلة سابقة، مُنيت الحكومات بفشل ذريع من خلال استثمارها في الكهرباء النظيفة (راجع «فضيحة سوليندرا» على سبيل التذكير)، ومن المؤكّد أنّ صانعي السياسات لا يرغبون في تبديد أموال الضرائب التي يدفعها الناس. غير أنّ هذا الخوف من الفشل يتسبّب بجعل مشاريع البحوث والتطوير ضيقة الأفق، بحيث تميل إلى اعتماد استثمارات أكثر أمانًا، يمكن ويجب تمويلها من القطاع الخاص. تكمن القيمة الحقيقية للقيادة الحكومية في

أعمال البحوث والتطوير في إمكانية مجازفتها بأفكار جريئة قد تفشل أو قد لا تؤتي ثمارها على الفور. ينطبق ذلك بشكل خاص على المؤسسات العلمية التي ما تزال محفوفة بالمخاطر بالنسبة إلى القطاع الخاص للأسباب التي تطرّقت إليها في الفصل 10.

ولمعرفة ما يمكن أن يحدث عندما تضع الحكومات رهانًا كبيرًا بطريقة صحيحة، علينا أن نتأمل في مشروع الجينوم البشري (HGP)، الذي صُمّم لرسم خارطة المجموعة الكاملة للجينات البشرية وعرض النتائج على العلن، واعتبر مشروعًا بحثيًّا بارزًا بقيادة وزارة الطاقة الأميركية والمعاهد الوطنية للصحة، إلى جانب شركاء من المملكة المتحدة، فرنسا، ألمانيا، اليابان والصين. استغرق المشروع 13 عامًا وبلغت تكلفته مليارات الدولارات، لكنه حدّد الوسائل الصحيحة لإجراء الاختبارات أو العلاجات الجديدة لعشرات الحالات المرضية الوراثية، بما في ذلك سرطان القولون الوراثي ومرض ألزهايمر وسرطان الثدي المتوارث ضمن الأسرة. وأظهرت إحدى الدراسات التي أجريت بشكل مستقل عن مشروع الجينوم البشري أنّ كلّ دولار استثمرته الحكومة الفدرالية في المشروع درّ على الاقتصاد الأميركي 141 دولارًا من العائدات.

في السياق نفسه، يجب على الحكومات أن تلتزم تمويل مشاريع واسعة النطاق (بقيمة مئات الملايين أو المليارات من الدولارات) التي من شأنها أن تساعد على تحقيق التقدّم المطلوب على مستوى الكهرباء النظيفة، خاصة في المجالات التي أشرت إليها أعلاه. كما عليها التزام تمويل هذه المشاريع على المدى البعيد لتمكين الباحثين من الاعتماد على تدفّق منتظم للدعم في السنوات المقبلة.

3. **ملاءمة أعمال البحوث والتطوير مع أكبر احتياجاتنا.** ثمة تمييز عملي بين بحوث «السماء الزرقاء» حول المفاهيم العلمية المستجدّة (المعروفة أيضًا بالبحوث الأساسية) والجهود المبذولة لاستغلال الاكتشافات العلمية وجعلها مفيدة (ما يُعرف بالبحوث التطبيقية أو المترجمة). على الرغم من الاختلاف بينهما، من الخطأ الاعتقاد، على غرار بعض الأصوليين، بأنه لا ينبغي احتقار العلوم الأساسية عبر التفكير كيف يمكن أن تقودنا إلى منتج تجاري مفيد.

فبعض أفضل الابتكارات ظهرت عندما باشر العلماء بحوثهم واضعين بالاعتبار الاستخدام النهائي؛ إذ أفضت مثلًا أعمال لويس پاستور في مجال علم الأحياء الدقيقة إلى ظهور اللقاحات والبسترة. إننا في حاجة إلى مزيد من البرامج الحكومية التي تجمع بين البحوث الأساسية والتطبيقية في المجالات التي نحن بأمسّ الحاجة إلى اختراقات فيها.

تعتبر مبادرة وزارة الطاقة الأميركية Sunshot خير مثال على ما هو مطلوب على هذا الصعيد. في العام 2011، حدّد قادة المشروع هدفًا يقضي بخفض تكلفة الطاقة الشمسية إلى 0.06 $ لكل كيلوواط-ساعة في غضون 10 سنوات فقط. فركّزوا في المرحلة الأولى على أعمال البحوث والتطوير، كما شجعوا الشركات الصغيرة، والجامعات، والمختبرات الوطنية على تركيز الجهود حول خفض تكلفة أنظمة الطاقة الشمسية، عبر التخلّص من العقبات البيروقراطية وجعل تمويل الأنظمة التي تعمل بالطاقة الشمسية أقل تكلفة. وبفضل هذه المبادرة المتكاملة، تمكّن مشروع Sunshot من تحقيق هدفه في العام 2017، أيّ قبل ثلاث سنوات من المهلة المحدّدة.

4. التعاون مع القطاع الصناعي منذ البداية. من الاختلافات الجوهرية الأخرى التي صادفتها هي الفكرة السائدة بأنّ الابتكارات في المراحل المبكرة من شأن الحكومات والابتكارات في المراحل اللاحقة من شأن الصناعات. ولكنّ الأمور لا تسير على هذا النحو على أرض الواقع، لاسيّما عندما يكون التحدّي التقني الذي نواجهه شديد القسوة كما هي الحال على مستوى الطاقة، حيث المقياس الأكثر أهمية لنجاح أيّ فكرة يكمن في القدرة على الوصول إلى النطاق الوطني أو حتى العالمي. فالشراكات في المراحل المبكرة ستستقطب أشخاصًا يدركون تمامًا كيفية القيام بذلك. يجب أن تتعاون الحكومات مع القطاع الصناعي لتخطّي العوائق وتسريع عجلة الابتكار. ويمكن للمشاريع التجارية المساعدة على وضع نموذج أوّلي للتقنيات الجديدة، وطرح رؤية للسوق، والمشاركة في الاستثمار في المشاريع. كما وأنها ستكون مسؤولة عن تسويق التقنيات، ما يعني أنه من البديهي التعاون معها بدءًا من المراحل الأولى.

تعجيل الطلب على الابتكار

يُعتبر جانب الطلب أكثر تعقيدًا من جانب العرض، بحيث يشمل في الواقع، خطوتين أساسيتين: المرحلة التجريبية ومرحلة توسيع النطاق.

فبعد تجربة المقاربة في المختبر، من الضروري التثبّت منها في السوق. ففي عالم التكنولوجيا، تكون المرحلة التجريبية سريعة وميسورة التكلفة، بحيث لا تستغرق عملية التثبّت من حسن أداء نموذج جديد لهاتف ذكي وإمكانية استقطابه للزبائن وقتًا طويلًا. غير أنّ هذه العملية أكثر صعوبة وأعلى تكلفة في مجال الطاقة.

إذ علينا التأكّد ما إذا كانت الفكرة التي نجحت في المختبر ما تزال تعمل في ظل ظروف العالم الحقيقي. (ربما تكون النفايات الزراعية التي ترغب في تحويلها إلى وقود حيوي أكثر بللًا من الأشياء التي استخدمتها في المختبر، وبالتالي لا تنتج كمية من الطاقة توازي ما توقّعته). وعليك أيضًا خفض التكلفة والمخاطر المتّصلة بالاعتماد المبكر، وتطوير سلاسل التوريد، واختبار نموذج أعمالك، ومساعدة المستهلكين على الإحساس بالراحة لدى استخدام التكنولوجيا الجديدة. تشمل الأفكار المدرجة حاليًّا ضمن المرحلة التجريبية الإسمنت منخفض الكربون، والانشطار النووي من الجيل الثاني، والتقاط الكربون وعزله، والرياح البحرية، والإيثانول السليلوزي (نوع من الوقود الحيوي المتقدّم)، وبدائل اللحوم.

تشبه المرحلة التجريبية وادي الموت، وهو مكان تلقى فيه معظم الأفكار الجيدة حتفها. فالمخاطر المترتّبة عن اختبار المنتجات الجديدة وتسويقها غالبًا ما تكون عظيمة، ما يثير خوف المستثمرين. ينطبق ذلك بشكل خاص على مستوى التقنيات المنخفضة الكربون التي تتطلّب رأس مال كبيرًا لتطبيقها، كما تفرض على المستهلك تغيير سلوكه بشكل واضح.

يمكن للحكومات (كما الشركات الكبيرة) مساعدة الشركات الناشئة في قطاع الطاقة على النجاة من وادي الموت لكونها المستهلك الأبرز. ففي حال أعطت الأولوية لتأمين المنتجات الخضراء، ستسهم في توفير مزيد من المنتجات في السوق عبر ترسيخ الثقة وخفض التكلفة.

استخدام قوة الشراء والتوريد. تشتري الحكومات على كل مستوياتها، الوطنية، والمحلّية والخاصة بالولايات، كميات هائلة من الوقود، والإسمنت والفولاذ. كما تبني وتقوم بتشغيل الطائرات والشاحنات والسيارات، وتستهلك

كمية من الطاقة توازي الكثير من الجيغاواط. ما يجعلها في موقع مثالي لإدخال التقنيات الناشئة على السوق بتكلفة ميسورة نسبيًا، خاصة إذا ما أخذنا بالاعتبار المنافع الاجتماعية المترتّبة عن الارتقاء بهذه التقنيات. يمكن للوزارات المعنية بالدفاع أن تلتزم شراء بعض الوقود السائل المنخفض الكربون للطائرات والسفن. كما يمكن لحكومات الولايات استخدام الإسمنت والفولاذ ذوي الانبعاثات المنخفضة في مشاريع البناء، في حين أنه من الممكن أن تستثمر المرافق في التخزين الطويل الأمد.

يجب أن يتمّ تأمين الحافز الملائم لكل بيروقراطي مسؤول عن اتخاذ القرارات المتعلّقة بالشراء للسعي وراء تأمين المنتجات الخضراء، وفهم كيفية تحديد تكلفة المؤثّرات الخارجية التي تحدّثنا عنها في الفصل 10.

بالمناسبة، لا بُدّ هنا من الإشارة إلى أنها ليست تحديدًا فكرة جديدة، بل هي مشابهة لعملية توفير الإنترنت في المراحل الأولى من ظهوره: فإلى جانب التمويل العام اللازم لأعمال البحوث والتطوير، كان هناك شارٍ ملتزمٌ، ويقصد به الحكومة الأميركية، ينتظر عند الطرف الآخر.

إيجاد حوافز لخفض التكلفة والحدّ من المخاطر. تستطيع الحكومات، إلى جانب شراء المستلزمات لنفسها، أن تؤمّن للقطاع الخاص حوافز مختلفة للتحوُّل إلى استعمال المنتجات الخضراء. فالإعفاءات الضريبية وضمانات القروض وغيرها من الأدوات قادرة على الإسهام في خفض العلاوات الخضراء وتحفيز الطلب على التقنيات الجديدة. وبالنظر إلى أنّ كثيرًا من هذه المنتجات سيكون مرتفع التكلفة لبعض الوقت في المستقبل، يحتاج المشترون

المحتملون إلى تسهيل الوصول إلى التمويل الطويل الأمد، فضلًا عن بناء الثقة التي تكون ثمرة السياسات الحكومية المتناسقة والقابلة للتنبؤ بها.

يمكن للحكومات أن تلعب دورًا كبيرًا جدًا عبر اعتماد سياسات الانبعاثات الكربونية الصفرية وتشكيل كيفية استقطاب الأسواق للأموال اللازمة لهذه المشاريع. في ما يلي بعض المبادئ الأساسية: يجب أن تكون السياسات الحكومية محايدة تكنولوجيًّا (تدعم أيّ حلول من شأنها خفض الانبعاثات، بدلًا من تفضيل عدد معين منها)، قابلة للتنبؤ بها (بدلًا من أن تكون صلاحيتها قابلة للانتهاء بشكل منتظم ليتمّ بعدها تمديدها، كما يحصل حاليًّا بشكل متكرّر)، ومتّسمة بالمرونة (لتمكين عدد أكبر من الشركات والمستثمرين من الاستفادة منها وليس ذوي الفواتير الضريبية الضخمة فحسب).

إنشاء البنية التحتية لطرح التقنيات الجديدة في السوق. لن تتمكّن حتى التقنيات المنخفضة الكربون ذات التكلفة التنافسية من كسب حصة في السوق في حال لم يتم في المقام الأوّل إنشاء بنية تحتية لتمكين طرحها في السوق. على الحكومات، على اختلاف مستوياتها، المساعدة على بناء هذه البنية التحتية التي تشمل خطوط التحويل للطاقة الشمسية وطاقة الريح، ومحطات الشحن للسيارات الكهربائية وخطوط أنابيب لثاني أكسيد الكربون والهيدروجين اللذين يتمّ التقاطهما.

تغيير القواعد لتمكين التقنيات الجديدة من التنافس. بعد إنشاء البنية التحتية، يجب وضع قواعد جديدة للسوق لتمكين التقنيات الجديدة من التنافس. فأسواق الكهرباء التي صُمّمت بما يتوافق مع تقنيات القرن

العشرين تضع تقنيات القرن الواحد والعشرين في موضع سيّئ. إذ تفتقر مثلًا المرافق في معظم الأسواق التي تستثمر في التخزين الطويل الأمد إلى التعويض الملائم عن القيمة التي تؤمنها للشبكة. كما تجعل الأنظمة استخدام الوقود الحيوي المتقدّم في السيارات والشاحنات صعبًا. وكما ذكرت في الفصل 10، لا يمكن لبعض الأشكال الجديدة من الخرسانة المنخفضة الكربون المنافسة بسبب القواعد الحكومية البالية.

تناولتُ لغاية الآن في هذا الفصل مرحلة التطوير، والمقصود بذلك السياسات التي من شأنها إشعال فتيل الابتكار واعتماد الاختراعات الجديدة في مجال الطاقة. سننتقل الآن إلى مرحلة توسيع النطاق، أو التسويق السريع والواسع النطاق. يمكن بلوغ هذه المرحلة بعد بلوغ التكلفة مستوى منخفضًا بما يكفي، وتطوير سلاسل التوريد ونماذج الأعمال، وإظهار المستهلك استعداده لشراء ما تنوي بيعه.

وفي حين أنّ الكهرباء المولَّدة بالرياح الساحلية، والطاقة الشمسية، والسيارات الكهربائية دخلت حاليًّا في مرحلة توسيع النطاق، لن يكون توسيع نطاقها سهلًا، لأننا في حاجة إلى كمية من الطاقة أكثر بثلاثة أضعاف من الكمية التي كنا في حاجة إليها لعشر سنوات خلت، حيث أنّ القسم الأكبر من الإلكترونات مستمدّ من الريح، والطاقة الشمسية وأشكال أخرى من الطاقة النظيفة. فنحن في حاجة إلى اعتماد السيارات الكهربائية، عند توافرها، بالسرعة نفسها التي نشتري بها مجفّفات الملابس وأجهزة التلفاز الملوّنة. كما نحن في حاجة إلى تغيير الطريقة التي نعتمدها في الزراعة والصناعة مع الاستمرار في توفير الطرق والجسور والأطعمة الغذائية التي نعتمد عليها جميعنا.

وكما ذكرت في الفصل 10، من حسن الحظ أننا لسنا بغرباء عن ميدان توسيع نطاق تقنيات الطاقة. فقد أسهمنا في تزويد المناطق الريفية بالكهرباء وتمكّنا من توسعة الإنتاج المحلّي للوقود الأحفوري من خلال تحقيق الربط بين السياسة والابتكار معًا. قد يخيّل إليك بأنّ بعض هذه السياسات، ومنها الإعفاءات الضريبية المختلفة لشركات النفط، هي أشبه بوسائل لدعم الوقود الأحفوري، لكنها في الحقيقة مجرّد أداة لطرح تقنية ظننا في مرحلة معينة بأنها ذات قيمة. تذكّر أنه لغاية أواخر السبعينيات، وبعد عرض مفهوم التغيُّر المناخي للمرّة الأولى في النقاش الوطني، تمّ الاتفاق بشكل شامل على الطريقة الأفضل لرفع جودة الحياة ونشر التنمية الاقتصادية والمتمثّلة في توسيع نطاق استخدام الوقود الأحفوري. بوسعنا اليوم أخذ العِبَر التي تعلّمناها من النمو الهادف للوقود الأحفوري وتطبيقها على الطاقة النظيفة.

ماذا يعني ذلك على المستوى العملي؟

فرض سعر على الكربون. يُقصد بذلك فرض ضريبة على الكربون أو اتّباع نظام تجارة الانبعاثات الذي يجيز للشركات شراء الحق في انبعاثات الكربون وبيعه، حيث أنّ فرض السعر على الكربون يعتبر إحدى أهم الخطوات التي بوسعنا اتخاذها للتخلّص من العلاوات الخضراء.

في المدى المنظور، تتمثل قيمة سعر الكربون بكونه قادرًا على جذب انتباه السوق إلى أنه قد تترتّب عن رفع تكلفة الوقود الأحفوري تكاليف إضافية مرتبطة بالمنتجات التي تنبعث منها غازات الاحتباس الحراري. فالعائدات من سعر الكربون ليست مهمة بقدر إشارة السوق المرسلة من السعر نفسه. يدّعي اقتصاديون كثر بأنه يمكن إعادة الأموال إلى المستهلكين أو الأعمال التجارية لتغطية الزيادة الناتجة في أسعار الطاقة، على الرغم من وجود حجة

قوية بأنّ هذه الأموال يجب أن تُخصَّص لأعمال البحوث والتطوير والحوافز الأخرى للمساعدة في حلّ مشكلة التغيُّر المناخي.

على المدى الطويل، ومع اقترابنا من الصافي الصفري للانبعاثات، بوسعنا تحديد سعر الكربون بما يتوافق مع تكلفة التقاط الهواء المباشر، بحيث يجوز استخدام الإيرادات لتسديد تكلفة سحب الكربون من الهواء.

على الرغم من أنّ ذلك سيشكّل تحوّلًا أساسيًا في كيفية تسعير السلع، لَقِيَ مفهوم تسعير الكربون قبولًا واسعًا لدى علماء الاقتصاد من مختلف المدارس الفكرية كما على الساحة السياسية. ولكنّ تطبيق ذلك بشكل صحيح سيكون صعبًا من الناحيتين التقنية والسياسية، في الولايات المتحدة وحول العالم. هل الناس على استعداد لدفع مبالغ أكبر بكثير للحصول على البنزين وكلّ المنتجات الأخرى المستخدمة في حياتهم اليومية ويمكن أن تتسبّب بانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، والتي تعتبر كثيرة؟ لن أتمكن من وصف ما يجب أن يكون عليه الحلّ، لكنّ الهدف الأساسي هو الحرص على أن يدفع الجميع التكلفة الحقيقية لانبعاثاتهم.

معايير الكهرباء النظيفة. اعتمدت تسع وعشرون ولاية الأميركية والاتحاد الأوروبي شكلًا من أشكال معايير الأداء يُعرف بمعيار المحفظة المتجدّدة. ترتكز الفكرة على الطلب من المرافق الكهربائية تأمين نسبة معينة من الكهرباء من مصادر متجدّدة. تتميّز هذه الآليات بمرونتها وارتكازها على السوق؛ إذ يمكن مثلًا، للمرافق التي تتمتع بإمكانية الوصول إلى مزيد من الموارد المتجدّدة بيع الاعتمادات للمرافق التي تملك عددًا أقل. غير أنّ أسلوب تطبيق هذا المقاربة يطرح حاليًّا مشكلة: إذ يحصر استخدام التقنيات المعتمدة المنخفضة الانبعاثات الكربونية بعدد قليل منها (طاقة الرياح، الطاقة

الشمسية، الطاقة الحرارية الجوفية، وأحيانًا الطاقة المائية)، فيما يستبعد خيارات أخرى مثل الطاقة النووية والتقاط الكربون. ما يتسبّب بالفعل برفع التكلفة الإجمالية لعملية خفض الانبعاثات.

تُعتبر معايير الكهرباء النظيفة، التي يسعى عدد أكبر من الولايات إلى اعتمادها، الحلّ الأفضل. فعوضًا عن التركيز بشكل خاص على مصادر الطاقة المتجدّدة، تتيح هذه المعايير لتقنيات الطاقة النظيفة كافة، بما في ذلك الطاقة النووية والتقاط الكربون، الاتجاه نحو الإيفاء بهذه المعايير. إنها مقاربة مرنة وميسورة التكلفة.

معايير الوقود النظيف. يمكن تطبيق فكرة معايير الأداء المرنة على القطاعات الأخرى أيضًا، لخفض الانبعاثات من السيارات، والمباني، فضلًا عن محطات توليد الطاقة. إذ يمكن مثلًا، تطبيق معيار الوقود النظيف على قطاع النقل للإسهام في تعجيل طرح تسويق السيارات الكهربائية، الوقود الكهربائي، الوقود الحيوي المتقدّم وغيرها من الحلول المنخفضة الانبعاثات الكربونية. تعتبر هذه الآلية، كما هي الحال على مستوى معيار الكهرباء النظيفة، محايدة تكنولوجيًّا، ويُسمح للكيانات الخاضعة للتنظيم بالاتجار بالاعتمادات، ما يُسهم في خفض التكلفة على المستهلك. لا بُدّ من الإشارة هنا إلى أنّ كاليفورنيا قد وضعت نموذجًا لذلك بالارتكاز على معايير الوقود المنخفض الكربون. وعلى المستوى الوطني، تمتلك الولايات المتحدة الأساس اللازم لهذه السياسة عبر معايير الوقود المتجدّد، التي يمكن إصلاحها لمعالجة القيود التي ذكرتها في الفصل العاشر وتوسعتها لتشمل الحلول الأخرى المنخفضة الانبعاثات الكربونية (بما في ذلك الكهرباء والوقود الكهربائي)، ما

يمكن أن يجعل منها أداة قوية في معالجة التغيُّر المناخي. وتوفر توجيهات الاتحاد الأوروبي المعنية بالطاقة المتجدّدة فرصة مماثلة في أوروبا.

معايير المنتجات النظيفة. يمكن أن تساعد معايير الأداء أيضًا في تعجيل تسويق الأنواع المنخفضة الانبعاثات من الإسمنت والفولاذ والبلاستيك وغيرها من المنتجات الكثيفة الكربون. ويمكن للحكومات أن تبدأ العملية عبر تحديد المعايير ضمن برامج المشتريات الخاصة بها وإنشاء برامج وضع العلامات التي توفّر لجميع المشترين معلومات حول مدى «نظافة» الموردين المختلفين. يمكن بعدها توسيع هذه المعايير لتشمل جميع السلع الكثيفة الكربون المباعة في السوق، وليس فقط ما تشتريه الحكومات. ويجب أن تتمتّع السلع المستوردة بالمواصفات المطلوبة أيضًا، ما من شأنه أن يخفّف من مخاوف البلدان بشأن خفض الانبعاثات من قطاعات التصنيع الخاصة بها الذي قد يجعل منتجاتها أكثر تكلفة ويضعها في وضع تنافسي أقل امتيازًا بكثير.

التخلّص من القديم. إلى جانب نشر التقنيات الجديدة بالسرعة اللازمة، على الحكومات إحالة المعدّات غير الفعّالة التي تعمل بالوقود الأحفوري، سواء معامل توليد الطاقة أو الآليات، إلى التقاعد، في أسرع وقت ممكن. صحيح أنّ تكلفة بناء معامل توليد الطاقة باهظة جدًا، ولكنّ الطاقة التي تولّدها تعتبر ميسورة التكلفة إذا ما وُزِّعت تكلفة البناء على عمرها الافتراضي التشغيلي. وبنتيجة ذلك، ستعزف الشركات المعنية بتشغيل المرافق والوكالات التنظيمية الخاصة عن إغلاق مصنع يعمل بشكل جيد تمامًا وعمره التشغيلي قد لا ينتهي قبل عقد من الزمن. غير أنّ الحوافز القائمة على

السياسات، عبر قانون الضرائب أو تنظيم المرافق، من شأنها أن تسرّع هذه العملية.

من هو الأوّل؟

لا يمكن لأيّ هيئة حكومية واحدة أن تنفّذ بالكامل خطة كتلك التي عرضتها آنفًا، لأنّ السلطة المعنية باتخاذ القرار هي ببساطة مشتّتة بإفراط. نحتاج إلى اتخاذ إجراءات على مستويات الحكومة كافة، بدءًا من مخطّطي النقل المحلّيين إلى الهيئات التشريعية الوطنية والهيئات التنظيمية البيئية.

يختلف المزيج الدقيق بين دولة وأخرى، ولكنني سأتطرّق إلى بعض الموضوعات الشائعة التي تعتبر صحيحة في معظم الأماكن حاليًّا.

تؤدّي الحكومات المحلّية دورًا مهمًّا على مستوى تحديد كيفية تشييد المباني ونوع الطاقة المستخدمة، وما إذا كانت الحافلات وسيارات الشرطة تعمل بالكهرباء، وما إذا كانت البنية التحتية اللازمة لشحن السيارات الكهربائية متوافرة، فضلًا عن كيفية إدارة النفايات.

وتؤدّي معظم الحكومات الإقليمية والخاصة بالولايات دورًا مركزيًّا في تنظيم الكهرباء، والتخطيط للبنى التحتية كالطرق والجسور، واختيار المواد التي تتوافق مع هذه المشاريع.

تفرض الحكومات المحلّية بصورة عامة سيطرتها على الأنشطة العابرة لحدود الولايات أو الحدود الدولية، لذا تقوم بصياغة القواعد التي تنظّم أسواق الكهرباء، واعتماد الأنظمة الخاصة بالتلوّث ووضع المعايير اللازمة للمركبات والوقود. كما تتحلّى بقدرة شرائية هائلة، وتعتبر المصدر الأوّلي للحوافز

المالية، وتتولّى بالإجمال تمويل أعمال البحوث والتطوير العامة أكثر من أيّ مستوى حكومي آخر.

باختصار، على كلّ حكومة وطنية اتخاذ ثلاثة إجراءات أساسية. أولًا، اتخاذ نقطة الصفر هدفًا لها، على أن تبلغ الدول الثرية هذا الهدف بحلول العام 2050 والدول المتوسّطة الدخل في أقرب فرصة ممكنة بعد العام 2050.

ثانيًا، تطوير خطة محدّدة لبلوغ هذه الأهداف. لبلوغ نقطة الصفر بحلول العام 2050، علينا إنجاز البنى اللازمة للسياسات والأسواق بحلول العام 2030.

ثالثًا، تحتاج كلّ دولة قادرة على تمويل البحوث إلى التأكّد من أنها تسلك المسار الصحيح الذي من شأنه أن يُسهم في جعل الطاقة النظيفة قليلة التكلفة، عبر خفض العلاوات الخضراء إلى أقصى حدّ ممكن، وذلك لتمكين الدول المتوسّطة الدخل من بلوغ نقطة الصفر.

لتوضيح كيفية الترابط بين هذه الخطوات الثلاث معًا، سأستعرض في الآتي ما تبدو عليه المقاربة الحكومية بالكامل لتعجيل الابتكار في الولايات المتحدة.

الحكومة الفدرالية

تبذل الحكومة الأميركية جهدًا أكثر من أيّ حكومة أخرى للدفع قُدُمًا بالابتكار في مجال الطاقة. فهي المموّل والمنفّذ الأبرز لأعمال البحوث والتطوير في مجال الطاقة، بحيث تُعنى 12 وكالة فدرالية مختلفة بالبحوث (تمتلك وزارة الطاقة الحصة الأكبر). فهي تملك كلّ الأدوات اللازمة لإدارة اتجاه ووتيرة أعمال البحوث والتطوير في مجال الطاقة، بما في ذلك المنح

البحثية، وبرامج القروض، والحوافز الضريبية، والمرافق المخبرية، والبرامج الرائدة، والشراكات العامة والخاصة وسوى ذلك.

تؤدّي الحكومة الفدرالية أيضًا دورًا رئيسًا في تفعيل الطلب على المنتجات الخضراء والسياسات. فهي تساعد على تمويل الطرق والجسور التي تبنيها الحكومات المحلّية والخاصة بالولايات، وتنظّم البنى التحتية العابرة لحدود الولايات كخطوط التحويل، وخطوط الأنابيب، والطرق السريعة كما تساعد على وضع القواعد الرئيسة للكهرباء الشاملة لعدة ولايات وأسواق الوقود. وتقوم أيضًا بتحصيل العائدات الضريبية، ما يعني أنّ الحوافز المالية الفدرالية هي الأكثر كفاءة على صعيد تحقيق التغيير.

في ما يتعلّق بالارتقاء بالتقنيات الجديدة، تؤدّي الحكومات الفدرالية الدور الأبرز. فهي تنظّم التبادل التجاري بين الولايات وتفرض سيطرتها على التجارة الخارجية وسياسة الاستثمار، ما يعني أننا في حاجة إلى سياسات فدرالية لخفض مصادر الانبعاثات التي تتخطّى حدود الولايات أو الحدود الدولية. (بحسب مجلة «ذي إيكونوميست»، وهي إحدى المجلات الأميركية المفضّلة لدي، يمكن أن تكون انبعاثات الولايات المتحدة أعلى بنسبة 8 % إذا ما أضفنا المنتجات التي يستهلكها الأميركيون ولكن المصنوعة في بلد آخر. كما يمكن أن تكون انبعاثات بريطانيا أعلى بنسبة 40 %). وفي حين يجب أن تتم عملية تسعير الكربون، ووضع معايير الكهرباء النظيفة ومعايير الوقود النظيف، ومعايير المنتجات النظيفة على مستوى الولايات، من المتوقّع أن تكون أكثر كفاءة إذا ما طُبِّقت في مختلف أنحاء البلاد.

يُقصد بذلك من الناحية العملية تأمين تمويل من الكونغرس لأعمال البحوث والتطوير، والمشتريات الحكومية، وتطوير البنية التحتية فضلًا عن

إنشاء، تعديل أو تمديد الحوافز المالية الخاصة بالسياسات والمنتجات الخضراء.

في غضون ذلك، يُعنى القسم التنفيذي في وزارة الطاقة بإجراء البحوث داخليًّا وتمويل أعمال أخرى أيضًا؛ ومن الممكن أن يقوم بدور محوري لجهة تطبيق معايير الطاقة النظيفة الفدرالية. وتُسند إلى وكالة حماية البيئة مهمة تصميم وتطبيق معايير موسّعة للوقود النظيف. أما لجنة تنظيم الطاقة الفدرالية التي تشرف على أسواق بيع الكهرباء بالجملة ومشاريع التحويل وخطوط الأنابيب ما بين الولايات، فتُعنى بتنظيم البنية التحتية والعناصر التسويقية للخطط.

واللائحة تطول. فوزارة الزراعة تُعنى بشكل أساسي باستخدام الأراضي وإدارة الانبعاثات الزراعية؛ في حين تشتري وزارة الدفاع أنواع الوقود المتقدّم المنخفضة الانبعاثات؛ وتقوم مؤسسة العلوم الوطنية بتمويل البحوث، بينما تساعد وزارة النقل على تمويل بناء الطرق والجسور، وإلى ما هنالك.

تبقى في الختام مسألة تمويل العمل المطلوب لبلوغ نقطة الصفر. لا يمكن لنا بعد أن نحدّد بدقّة حجم التكلفة التي سنتكبّدها مع مرور الوقت لبلوغ نقطة الصفر، بحيث يتوقّف ذلك على نجاح الابتكار وسرعته وفعالية التسويق، إلّا أننا نعي تمامًا بأن ذلك سوف يتطلّب استثمارات ضخمة.

لحسن الحظ أنّ أسواق رؤوس الأموال في الولايات المتحدة مكتملة النمو وخلّاقة بحيث أنها قادرة على جذب الأفكار المتميزة وتطويرها وتسويقها بسرعة؛ تقدّمت باقتراحات للحكومة الفدرالية يمكن أن تستعين بها لتتمكّن من السير بالأسواق في الاتجاه الصحيح وعقد الشراكات مع القطاع الخاص

بطرق جديدة. وفي حين أنّ البلدان الأخرى كالصين والهند وعدد كبير من الدول الأوروبية، لا تملك أسواقًا تتمتع بهذا القدر من القوة، إلَّا أنها قادرة على الاستثمار على نطاق واسع في القطاع العام لمعالجة مشكلة التغيُّر المناخي. كما تسعى المصارف المتعدّدة الأطراف، مثل البنك الدولي ومصارف التنمية في آسيا وأفريقيا وأوروبا، إلى تحقيق نسبة أعلى من المشاركة.

ثمة أمران واضحان. يجب أولًا زيادة كمية الأموال المستثمرة للوصول إلى نقطة الصفر بشكل كبير والتكيّف مع الضرر الذي ندرك بأنه سيحصل لا محالة، على المدى الطويل. ما يعني بالنسبة إليّ أنه سيتوجّب على الحكومات والمصارف الدولية إيجاد طرق أفضل للاستفادة من رأس المال الخاص، ذلك أنّ خَزْناتها ليست كبيرة بما يكفي لتتمكّن من القيام بذلك بمفردها.

ثانيًا، تعتبر، الأطر الزمنية للاستثمار في المناخ طويلة، والمخاطر المترتّبة عالية. لهذا، يجب أن يستخدم القطاع العام قدرته المالية لإطالة أفق الاستثمار، بحيث يعكس حقيقة أنّ العائدات قد لا تتحقّق قبل سنوات عديدة، وأن يقلّل من مخاطر هذه الاستثمارات. وفي حين أنه من الصعب الخلط بين المال العام والخاص على هذا النطاق الواسع، إلَّا أنه أمرٌ ضروري. فنحن في حاجة إلى أفضل العقول في مجال التمويل للعمل على حل هذه المشكلة.

حكومات الولايات

يتولّى كثير من الولايات في أميركا قيادة هذا المسار، بحيث انضمت أربع وعشرون ولاية بالإضافة إلى بورتوريكو إلى تحالف الولايات المتحدة للمناخ الذي يضمّ الحزبين، والتزمت تحقيق أهداف اتفاقية باريس لخفض الانبعاثات بنسبة لا تقلّ عن 26 % بحلول العام 2025. وبالرغم من أنّ ذلك لا يكفي لتقليل الانبعاثات على المستوى الوطني بالقدر الذي نحتاج إليه، لا

يمكن القول أيضًا بأنها مجرّد إضاعة للوقت. إذ يمكن للولايات أن تقوم بدور حاسم لجهة إظهار التقنيات والسياسات المبتكرة، كاستخدام مرافقها ومشاريع تشييد الطرق لطرح تقنيات معينة إلى السوق مثل التخزين طويل الأمد والإسمنت المنخفض الانبعاثات.

يمكن للولايات أيضًا أن تختبر سياسات معينة كتسعير الكربون ومعايير الكهرباء النظيفة ومعايير الوقود النظيف، قبل تطبيقها في مختلف أنحاء البلاد. كما يمكن لها أن تعقد معًا تحالفات إقليمية، تمامًا كما تسعى كاليفورنيا والولايات الغربية الأخرى لدمج شبكاتها، وكما فعلت بعض الولايات في الشمال الشرقي من خلال برنامج تجارة الانبعاثات لتقليل الانبعاثات. يشكّل تحالف المناخ الأميركي والمدن التي انضمّت إليه أكثر من 60 % من الاقتصاد الأميركي، مما يعني أنها تتمتع بقدرة هائلة على إنشاء الأسواق وإظهار كيفية وضع الأفكار الجديدة موضع التنفيذ.

تعتبر المجالس التشريعية بالولايات مسؤولة عن اعتماد أنظمة تسعير الكربون على مستوى الولاية، ومعايير الطاقة النظيفة، ومعايير الوقود النظيف. كما تُعنى بتوجيه وكالات الدولة والمرافق العامة أو لجان الخدمة لتغيير سياسات الشراء الخاصة بها وإعطاء الأولوية للتقنيات المتقدمة المنخفضة الانبعاثات.

تقع على عاتق الوكالات الرسمية بالولايات مسؤولية تحقيق الأهداف التي تضعها السلطة التشريعية والحاكم. فهي تشرف على كفاءة الطاقة والسياسات المتعلّقة بتشييد الأبنية، وتتولّى إدارة سياسة الولاية الخاصة

بقطاع النقل والاستثمارات فيه، وتدعم معايير التلوّث، كما تنظّم الزراعة والاستخدامات الأخرى للأراضي.

وإذا حدث، وإن كان هذا بعيد الاحتمال، أن هرع أحدهم نحوك وسألك: «ما هي الوكالة المغمورة غير المقدَّرة حق تقديرها لجهة تأثيرها في التغيُّر المناخي؟» بوسعك أن تفعل أسوأ من ذلك وتجيبه: «هيئة المرافق العامة في ولايتي» أو «هيئة الخدمة العامة في ولايتي». (الاسم يختلف من ولاية إلى أخرى). لم يسمع معظم الناس مطلقًا عن «هيئات المرافق العامة» أو «هيئات الخدمة العامة»، مع أنها في الواقع مسؤولة عن كثير من القوانين المتعلّقة بالكهرباء في الولايات المتحدة. فهي المعنية مثلًا بالموافقة على خطط الاستثمار التي تقترحها المرافق الكهربائية وتحدّد السعر الذي يدفعه المستهلكون للكهرباء. من المتوقّع أن تصبح هذه اللجان أكثر أهمية عندما نتمكّن من تلبية مزيد من احتياجاتنا إلى الطاقة بالكهرباء.

الحكومات المحلّية

يلتزم رؤساء البلديات في جميع أنحاء الولايات المتحدة وحول العالم بخفض الانبعاثات. فقد وضعت اثنتا عشرة مدينة أميركية كبرى هدفًا رئيسًا يتمثّل في أن تصبح خالية من الكربون بحلول العام 2050، فيما تعهدت أكثر من 300 مدينة بتحقيق أهداف اتفاقية باريس.

صحيح أنّ المدن لا تملك تأثيرًا كبيرًا على الانبعاثات مثل حكومات الولايات والحكومات الفدرالية، إلَّا أننا لا نستطيع القول إنها عاجزة على الإطلاق. فهي لا تستطيع وضع معايير لانبعاثات المركبات الخاصة بها، ولكنها تستطيع على سبيل المثال شراء الحافلات الكهربائية، وتمويل مزيد من محطات الشحن للسيارات الكهربائية، واستخدام قوانين تقسيم المناطق

لزيادة الكثافة للحدّ من تنقّل الناس بين العمل والمنزل، هذا إلى جانب إمكانية تقييد وصول المركبات التي تعمل بالوقود الأحفوري إلى طرقاتها. ويمكنها أيضًا وضع سياسات المباني الخضراء، وجعل أساطيل مركباتها تعمل بالكهرباء، وتحديد المبادئ التوجيهية لعمليات الشراء ومعايير الأداء للمباني المملوكة للبلديات.

تمتلك بعض المدن، ومنها سياتل وناشفيل وأوستن، شركة المرافق المحلّية، ما يمنحها سلطة الإشراف التي تخوّلها معرفة ما إذا كانت تحصل على الكهرباء من مصادر نظيفة. يمكن لمثل هذه المدن أيضًا أن تسمح ببناء مشاريع طاقة نظيفة ضمن أراضيها.

يمكن **لمجالس المدينة** اتخاذ إجراءات مماثلة لتلك التي تتخذها الهيئات التشريعية في الولايات والكونغرس الأميركي من حيث تمويل أولويات سياسة المناخ ومطالبة الوكالات الحكومية المحلّية باتخاذ الإجراءات.

تشرف **الوكالات المحلّية**، كنظيراتها الفدرالية وعلى صعيد الولايات، على أولويات السياسة العامة المختلفة، حيث تفرض إدارات البناء معايير الكفاءة؛ ويمكن لوكالات النقل أن تتحول للعمل بالطاقة الكهربائية وتؤثر على المواد المستخدمة في بناء الطرق والجسور؛ كذلك تقوم وكالات إدارة النفايات بتشغيل مجموعة كبيرة من المركبات وتملك تأثيرًا على الانبعاثات الناتجة عن مواقع طمر النفايات.

سنعود إلى المستوى الفدرالي لتوضيح نقطة أخيرة: كيف يمكن للدول الغنية المساعدة في القضاء على المشكلة الناشئة بسبب المنتفعين منها؟

لا يسعنا إيجاد طريقة لتلطيف حقيقة أنّ الوصول إلى نقطة الصفر لن يكون مجانيًّا. علينا استثمار مزيدٍ من الأموال في البحث، ونحن في حاجة إلى سياسات تدفع الأسواق نحو اعتماد منتجات الطاقة النظيفة التي تعتبر في الوقت الراهن أعلى كلفةً من نظيراتها التي تنبعث منها غازات الاحتباس الحراري.

لكن من الصعب فرض تكاليف أعلى في الوقت الراهن للوصول إلى مناخ أفضل لاحقًا. تشكّل العلاوة الخضراء حافزًا كبيرًا للدول، وخاصة الدول ذات الدخل المتوسّط والمنخفض، لمقاومة خفض الإنبعاثات. لقد رأينا بالفعل أمثلة كثيرة في دول مختلفة من العالم، ومنها كندا والفليبين والبرازيل وأستراليا وفرنسا ودول أخرى، يوضح من خلالها الجمهور عبر أصواتهم الانتخابية إصرارهم على عدم رغبتهم بدفع المزيد مقابل البنزين ووقود التدفئة وأساسيات أخرى.

ليست المشكلة في أنّ الناس في هذه الدول يرغبون بأن يصبح المناخ أكثر دفئًا، بل تكمن المشكلة في كونهم قلقين إزاء الكلفة التي سيتكبدونها مقابل الحلول.

لذا، كيف بوسعنا تخطّي المشكلة التي يتسبّب بها المنتفعون بلا مقابل؟

من المهم وضع أهداف طموحة والعمل على تحقيقها، على غرار ما فعلت دول العالم في إتفاقية باريس لعام 2015. ومن السهل الاستهزاء بالاتفاقيات الدولية، إلَّا أنها تشكّل جزءًا من عملية التقدّم: إذا كنت ترغب في الحفاظ على طبقة الأوزون، عليك أن تكون ممتنًّا لوجود اتفاقية دولية تدعى «بروتوكول مونتريال».

يكفي أن نحدّد هذه الأهداف لتصبح المنتديات مثل مؤتمر تغيُّر المناخ المكان الذي تجتمع فيه البلدان لتقديم تقارير عن التقدّم المحرَز ومشاركة النجاحات. يمكن استخدامها أيضًا كآلية للضغط على الحكومات الوطنية للقيام بدورها. عندما تتفق حكومات العالم على أهمية تقليل الانبعاثات، يصبح من الصعب، ولكن ليس من المستحيل، الوقوف في صف الجهة المتطرّفة القائلة: «أنا لا أهتم، سأستمر في إطلاق غازات الاحتباس الحراري».

ماذا عن أولئك الذين يرفضون متابعة التعاون؟ من الصعب للغاية تحميل أيّ دولة مسؤولية انبعاثات الكربون، ولكنه أمرٌ غير مستحيل. يمكن مثلًا للحكومات التي تعتمد سعرًا للكربون إنشاء ما يسمّى بالتعديل الحدودي، لضمان دفع سعر الكربون على بعض المنتجات سواء تمّ تصنيعها محليًا أو تمّ استيرادها من مكان آخر. (يجب وضع إعفاءات للمنتجات الآتية من الدول المنخفضة الدخل حيث تكون الأولوية لدفع النمو الاقتصادي، وليس تقليل انبعاثات الكربون والتي تكون منخفضة بالفعل.)

ويمكن أيضًا للدول التي تفرض ضرائب على الكربون أن توضح أنها لن تعقد اتفاقيات تجارية وتدخل في شراكات متعدّدة الأطراف مع أيّ طرف لم يجعل خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من أولوياته، كما ولم يعتمد السياسات اللازمة لتحقيق ذلك (مع وضع إعفاءات للدول ذات الدخل المنخفض). يمكن من حيث الجوهر، للحكومات أن تقول بعضها لبعض «إذا كنتم تريدون التعامل معنا، فسيتعيّن عليكم التعامل مع تغيُّر المناخ بجدّية».

وفي الختام، والأهم من وجهة نظري، يتعيّن علينا تخفيض الكلفة الإضافية للطاقة النظيفة. إنها الطريقة الوحيدة لتسهيل الأمر على البلدان

ذات الدخل المتوسّط والمنخفض لتقليل انبعاثاتها والوصول إلى نقطة الصفر في نهاية الأمر، بحيث لا يمكن تحقيق ذلك إلَّا إذا تولّت الدول الغنية، وخاصة الولايات المتحدة واليابان والدول الأوروبية، زمام المبادرة. فبالرغم من كلّ شيء، هذه هي الأماكن التي تشهد ولادة معظم الابتكارات التي يعرفها العالم.

ومن المهم الإشارة إلى أنّ *خفض العلاوات الخضراء للطاقة النظيفة التي يدفعها العالم ليس عملًا خيريًا*، بحيث يجب أن لا تعتبر الدول مثل الولايات المتحدة أعمال البحوث والتطوير في مجال الطاقة النظيفة على أنها مجرّد خدمة لبقية العالم. يجب عليها أن تجد فيها خير فرصة للاختراقات العلمية التي من شأنها أن تثمر عن صناعات جديدة تتكوّن من شركات كبرى جديدة، ما يخلق فرص عمل ويقلّل من الانبعاثات في آن.

علينا أن نفكر في الإيجابيات المترتّبة عن البحوث الطبية المموَّلة من المعاهد الوطنية للصحة. تنشر المعاهد الوطنية للصحة نتائجها بحيث يمكن للعلماء في جميع أنحاء العالم الاستفادة من أعمالها، لكنّ تمويلها يعزّز أيضًا القدرات في الجامعات الأميركية التي ترتبط بدورها بالشركات الناشئة والشركات الكبرى. وبنتيجة ذلك تُسهم أعمال التصدير للخبرات الطبية المتقدّمة في توفير كثير من الوظائف ذات الأجور المرتفعة على المستوى المحلي إلى جانب إنقاذ الحياة على المستوى العالمي.

يتكرّر الأمر نفسه على مستوى التكنولوجيا، حيث أدّت الاستثمارات المبكرة من وزارة الدفاع إلى إنشاء الإنترنت والرقائق الدقيقة التي أطلقت شرارة ثورة الكمبيوتر الشخصي.

من السهل تطبيق ذلك في مجال الطاقة النظيفة حيث تتوافر أسواق بمليارات الدولارات تنتظر أن يخترع أحدهم إسمنتًا أو فولاذًا منخفض التكلفة وخاليًا من الكربون أو وقودًا سائلًا خاليًا من الكربون. فالتوصّل إلى هذه الاختراقات وتوسيع نطاقها سيكون صعبًا، كما حاولت أن أبيّن من خلال هذا الكتاب، لكنّ الفرص المتاحة كبيرة جدًا بحيث تستحق الإعلان عنها أمام الملأ. من المؤكّد أنّ أحدهم سيتوصّل إلى اختراع هذه التقنيات، ولكن لا أحد يعرف متى بالتحديد.

ثمة أمور كثيرة بإمكان الأفراد القيام بها، بدءًا من المستوى المحلّي وصولًا إلى المستوى الوطني، لتسريع تنفيذ هذه الخطة. سنتحدّث عن هذا الموضوع في الفصل التالي والأخير.

الفصل الثاني عشر

ما يمكن أن يفعله كلٌّ منّا

من السهل أن تشعر بالعجز عند مواجهة مشكلة بحجم التغيُّر المناخي. لكنك لست عاجزًا. ليس من الضروري أن تكون سياسيًّا أو ناشطًا في حقل الأعمال الخيرية لإحداث فرق. أنت شخص مؤثّر كمواطنٍ أو مستهلكٍ أو موظّفٍ أو صاحبِ عمل.

بصفتك مواطنًا

عندما تسأل نفسك ما الذي يمكن أن تفعله للحدّ من تغيُّر المناخ، من الطبيعي التفكير بأمورٍ مثل قيادة سيارة كهربائية أو تناول كميات أقل من اللحوم. إنّ هذا النوع من الخطوات الفردية مهمّ بسبب الإشارات التي ترسلها للسوق - انظر القسم التالي لمزيد من المعلومات بشأن هذه النقطة - ولكنّ الجزء الأكبر من انبعاثاتنا ناجمٌ عن الأنظمة الأكبر التي نعيش حياتنا اليومية فيها.

حين يريد أحدٌ ما تناول الخبز المحمص على الفطور، يجب أن نتأكّد من وجود نظام قائم يمكّننا من توفير الخبز وآلة التحميص والكهرباء لتشغيل الآلة من دون زيادة غازات الدفيئة في الجو. لن نستطيع حلّ مشكلة تغيُّر المناخ عبر منع الناس من تناول الخبز المحمّص.

غير أنّ تطبيق نظام طاقة جديد يقتضي تضافر جهود السياسيين. لذلك فإنّ الانخراط في العملية السياسية هو أهم خطوة منفردة يمكن لأيّ امرئ أن يتخذها للمساعدة في اجتناب كارثة مناخيّة.

في اجتماعاتي الخاصة مع السياسيين وجدت أنه من المفيد التذكير بأنّ تغيُّر المناخ لم يكن همّهم الوحيد. فهم يفكّرون أيضًا كقادة الحكومات بالتربية والوظائف والصحة والسياسة الخارجية ومؤخرًا بجائحة كوفيد-19. من الضروري التفكير بهذه الأمور كلها طبعًا لأنها جميعها تتطلّب الاهتمام.

يمكن لصانعي السياسات الاضطلاع بعددٍ معيّن من المشكلات في الوقت نفسه. وبناءً على ما يسمعونه من ناخبيهم، يقرّرون ما يفعلون ويحدّدون أولوياتهم.

بعبارة أخرى، يتبنّى المسؤولون المنتخبون خططًا محدّدة لتغيُّر المناخ إذا طلب ناخبوهم ذلك. وبفضل النشطاء الموجودين في جميع أنحاء العالم، لسنا في حاجة إلى توليد الطلب: هناك ملايين الناس الذين يَدعون حاليًا إلى اتخاذ الإجراءات اللازمة. ومع ذلك، فإن ما نحتاج إلى القيام به هو ترجمة هذه الدعوات إلى ضغط يشجّع السياسيين على اتخاذ الخيارات الصعبة والتنازلات اللازمة للوفاء بوعودهم من أجل الحدّ من الانبعاثات.

مهما كانت الموارد الأخرى التي تملكها، يمكنك دائمًا استخدام صوتك وتصويتك لإحداث التغيير.

اجرِ مكالمات هاتفية واكتب رسائل واحضر اجتماعات البلدية. ما يمكن مساعدة قادتك على فهمه هو أنّ التفكير في مشكلة تغيُّر المناخ على المدى الطويل مهمّ بالقدر نفسه كالتفكير في الوظائف أو التعليم أو الرعاية الصحية.

قد تبدو هذه الوسائل قديمة الطراز لكنّ كتابة الرسائل وإجراء المكالمات الهاتفية مع المسؤولين المنتخبين يمكن أن يكون لها تأثير حقيقي. يتلقّى أعضاء مجلس الشيوخ والنواب تقارير متكرّرة حول ما يصل إلى أسماع موظفي مكاتبهم من الناخبين. لكن لا تقل ببساطة «افعل شيئًا حيال تغيُّر المناخ». بل تعرّف مواقفهم، واطرح عليهم الأسئلة، ووضح أنّ هذه المسألة ستساعدك على التصويت. اطلب مزيدًا من التمويل للبحث والتطوير في مجال الطاقة النظيفة، أو معيار الطاقة النظيفة، أو رفع الضريبة على إصدار الكربون، أو أيّ سياسات أخرى تحت الفصل 11.

تابع محليًّا ووطنيًّا. يتّخذ الحكام ورؤساء البلديات والمجالس التشريعية للولايات ومجالس المدن قرارات كثيرة ذات صلة على مستوى الولاية والمستوى المحلي – إنه المستوى الذي يمكن أن يكون للمواطنين فيه تأثير أكبر مقارنة بالمستوى الفدرالي. في الولايات المتّحدة، مثلًا، يتمّ تنظيم الكهرباء بشكل أساسي من خلال لجان المرافق العامة على مستوى الولاية، التي تتكوّن من مفوضين إمّا منتخبين أو معيّنين. تعرّف على ممثّليك وابقَ على اتصال معهم.

ترشّح لمنصب. إنّ الترشح للكونغرس الأميركي مهمّة صعبة. لكن ليس عليك أن تبدأ من هناك. يمكنك الترشّح لمنصب حكومي أو محلّي في المنطقة حيث من المحتمل أن يكون لديك تأثير أكبر. نحن في حاجة إلى السياسات الذكيّة والشجاعة والإبداع في المناصب العامة التي يمكن أن نحصل عليها.

بصفتك مستهلكًا

يخضع السوق للعرض والطلب، وبوسعك كمستهلك أن تكون مؤثرًا جدًا حيث أنك تشكّل عنصر الطلب في المعادلة. إذا قمنا جميعًا بإجراء تغييرات فرديّة لما نشتريه ونستخدمه، نستطيع أن نحدث فرقًا كبيرًا طالما نركّز على تغييرات ذات مغزى. على سبيل المثال، إذا كنت تستطيع أن تتحمّل تكلفة تثبيت منظّم حرارة ذكي لخفض استهلاكك للطاقة عندما لا تكون في المنزل، فقم بذلك. ستخفض فاتورة الكهرباء وانبعاث الغازات المسبّبة للاحتباس الحراري.

لكنّ الحدّ من انبعاثات الكربون ليس هو الأمر الأهم الذي بوسعك فعله. تستطيع أيضًا إرسال إشارة إلى السوق مفادها أنّ الناس يريدون بدائل خالية من الكربون وهم مستعدون للدفع إذ تمّ اعتمادها. عندما تدفع أكثر لسيارة كهربائية، أو مضخة حرارية، أو برغر نباتي، فأنت تقول: «ثمة سوق لهذه الأشياء وسنشتريها». بحسب خبرتي، إذا أرسل عدد كافٍ من الأشخاص الإشارة نفسها، فسوف تستجيب الشركات بسرعة كبيرة. سيخصّصون مزيدًا من المال والوقت لصنع منتجات منخفضة الانبعاثات، ممّا سيؤدّي إلى خفض أسعار هذه المنتجات، وسيساعدهم على إنتاجها بأعداد كبيرة. سيصبح المستثمرون أكثر ثقة بشأن تمويل الشركات الجديدة التي تحقّق الاختراقات التي تساعدنا في بلوغ نقطة الصفر.

من دون إشارة الطلب هذه، ستبقى الابتكارات التي تستثمر فيها الحكومات والشركات غير منفّذة أو لن تُطوَّر في المقام الأوّل، لأنه لا يوجد حافز اقتصادي لذلك.

في ما يلي بعض الخطوات المحدّدة التي بوسعك اتخاذها:

اشترك في برنامج التسعير الأخضر مع شركة الكهرباء. تسمح بعض شركات إنتاج الكهرباء للبيوت وأماكن العمل، بدفع مبلغ إضافي مقابل طاقة من مصادر نظيفة. تُلزَم المرافق في 13 ولاية توفير هذا الخيار. (بوسعك معرفة ما إذا كانت ولايتك توفّر ذلك عبر التحقّق من خارطة برامج التسعير الأخضر في C2ES - مركز حلول المناخ والطاقة (www.c2es.org/document/green-pricing-programs). يدفع الزبائن في هذه البرامج مبلغًا إضافيًّا على فاتورة الكهرباء لتغطية التكلفة الإضافية للطاقة المتجدّدة، بمتوسّط سِنْت إلى سِنْتين لكلّ كيلوواط-ساعة، أو بين 9 دولارات إلى 18 دولارًا في الشهر للمنزل الأميركي النموذجي. حين تشارك في هذه البرامج، أنت تخبر شركة الكهرباء أنك مستعدٌّ لدفع مزيدٍ لمواجهة تغيُّر المناخ. هذه إشارة مهمة عن السوق.

لكنّ هذه البرامج لا تلغي الانبعاثات أو تؤدّي إلى زيادات ذات مغزى في كمية الطاقة المتجدّدة على الشبكة. يمكن فقط أن تفعّل السياسات الحكومية والاستثمارات المتزايدة المخصّصة لذلك.

تخفيض انبعاثات منزلك. اعتمادًا على مقدار المال والوقت الذي يمكن أن توفّره، بوسعك استبدال مصابيح LED بالمصابيح المتوهّجة أو تثبيت ضابط حراري (ثرموستات) ذكي أو عزل نوافذك أو شراء أجهزة فعّالة أو استبدال

مضخة حرارية بنظام التدفئة والتبريد (إذا كنت تقيم في منطقة يسمح لك مناخها باستخدام هذه الأدوات). إذا كنت مستأجرًا منزلك فبوسعك إجراء تغييرات في نطاق ما هو متاح لك - مثل استبدال المصابيح الكهربائية - وتشجيع المالك على القيام بالباقي. إذا كنت تبني منزلًا جديدًا أو ترمّم منزلًا قديمًا، فبوسعك اختيار الفولاذ المعاد تدويره وجعل المنزل أكثر كفاءة من خلال استخدام الألواح العازلة الهيكلية والقوالب الخرسانيّة العازلة والحواجز المشعّة تحت السقف أو العِلّية، والعزل الحراري العاكس، وعزل الأساسات.

اشترِ سيارة كهربائية. تطورّت السيارات الكهربائية بشكل ملحوظ من حيث التكلفة والأداء. لقد أصبحت في متناول كثير من المستهلكين بالرغم من أنها ليست مناسبة للجميع (فهي غير ملائمة لكثير من الرحلات الطويلة، كما أنّ شحنها في المنزل ليس عمليًّا للجميع). هذا أحد الخيارات التي يمكن أن يكون لسلوك المستهلك تأثير كبير فيها، فإذا أقبل الناس على شرائها بأعداد كبيرة، فسوف تصنّع الشركات كثيرًا منها.

جرّب البرغر النباتي. أعترف أنّ البرغر النباتي لم يكن دائمًا لذيذ الطعم، ولكنّ الجيل الجديد من بدائل البروتين النباتي أفضل من سابقاته وأقرب إلى طعم اللحوم وملمسها. تستطيع أن تجدها في كثير من المطاعم ومحلات البقالة وحتى في مطاعم الوجبات السريعة. يرسل شراء هذه المنتجات رسالةً واضحةً وهي أنّ الاستثمار فيها حكيم. إضافةً إلى ذلك، فإنّ تناول بدائل اللحوم (أو ببساطة عدم تناول اللحوم) مرّة أو مرّتين في الأسبوع سيقلّل من الانبعاثات التي تسبّبها أنت شخصيًا. وذلك ينطبق على منتجات الألبان أيضًا.

بصفتك موظّفًا أو ربّ عمل

إذا كنت موظّفًا أو مساهمًا في شركة، بوسعك أن تدفع شركتك إلى القيام بدورها. ولا شكّ أنّ للشركات الكبرى تأثيرًا أكبر في الكثير من المجالات، ولكن يمكن أيضًا للشركات الصغرى أن تحقّق الكثير، خاصةً إذا كانت تعمل معًا من خلال منظّمات، مثل غرف التجارة المحليّة.

إنّ بعض الخطوات أسهل من غيرها، وللأشياء السهلة تأثير أيضًا. مثال على ذلك: إنّ زراعة الأشجار بهدف مواجهة الانبعاثات أمر مفيد لأسباب بيئية وسياسية، فذلك يعني أنك مهتم بالتغيُّر المناخي.

غير أنّ القيام بالأشياء السهلة فقط لن يحلّ المشكلة. سيحتاج القطاع الخاص إلى تبنّي خطوات أصعب أيضًا.

من جهة أولى، هذا يعني قبول مزيد من المخاطر. على سبيل المثال: تمويل مشاريع قد تفشل، لكنها قد تشكّل اختراقًا في مجال الطاقة النظيفة. من جهة أخرى، ينبغي أن يكون المساهمون وأعضاء مجلس الإدارة على استعداد لتشارك هذه المخاطر، موضحين للمدراء التنفيذيين أنّهم سيدعمون الاستثمارات الذكية حتى لو لم تنجح في النهاية. يجب أن تُكافَأ الشركات وقادتُها على المجازفات التي قد تدفعنا إلى أمام في ما يتعلّق بالتغيُّر المناخي.

يمكن أيضًا للشركات العمل بعضها مع بعض لتحديد أصعب التحدّيات المناخية ومحاولة حلّها. وهذا يعني البحث عن تمويل إضافي لاستخدام التقنيات ذات العلاوات الخضراء الأكبر، ومحاولة تقليلها. فإذا اجتمع أكبر المستهلكين من القطاع الخاص في العالم لمواد مثل الصلب والإسمنت

وطالبوا ببدائل أنظف والتزموا بالاستثمار في البنية التحتية اللازمة لصنعها فسيؤدّي ذلك إلى تسريع البحث وتوجيه السوق في الاتجاه الصحيح.

أخيرًا، يمكن للقطاع الخاص أن يدافع عن هذه الخيارات الصعبة، بالوسائل التالية مثلًا: من خلال الموافقة على استخدام موارده لتطوير هذه الأسواق ومطالبة الحكومات بإنشاء هياكل تنظيمية يمكن أن تنجح التقنيات الجديدة في إطارها. هل يركّز القادة السياسيون على مصادر الانبعاثات الأكبر والتحدّيات التقنية الأصعب؟ هل يتحدّثون عن تخزين الطاقة على نطاق الشبكة، والوقود الكهربائي، والانصهار النووي، واحتجاز الكربون، وإنتاج الإسمنت والفولاذ الخاليين من الكربون؟ إذا لم يكن الأمر كذلك، فهم لا يساعدوننا في السير في طريق تؤدي إلى صفر انبعاثات بحلول العام 2050.

في ما يلي بعض الخطوات المحدّدة التي يمكن للقطاع الخاص اتخاذها:

افرض ضريبة كربون داخلية. تفرض الآن بعض الشركات الكبرى ضريبة كربون على كلّ قسم من أقسامها. فهي لا تقوم بالحدّ من الانبعاثات بالكلام فحسب، بل بالفعل. إنها تساعد المنتجات على الخروج من المختبر والدخول إلى السوق، فالإيرادات التي تحقّقها من الضرائب الداخلية تخصَّص مباشرة للأنشطة التي تقلّل من المدفوعات الإضافية لاستخدام تقنيات العلاوة الخضراء وتساعد في إنشاء سوق لمنتجات الطاقة النظيفة التي ستحتاج إليها الشركات. يمكن للموظفين والمستثمرين والعملاء تأييد هذا النهج، وتأمين غطاء للمديرين التنفيذيين المسؤولين عن تنفيذها.

أعطِ الأولوية لابتكار حلول منخفضة الكربون. كان الاستثمار في أفكار جديدة أمرًا تفتخر به معظم الصناعات. لكنّ أيام المجد التي كانت فيها الشركات تستثمر في البحوث والتطوير ولّت. تنفق الشركات اليوم في صناعات الفضاء والمواد والطاقة، في المتوسّط، أقلّ من 5 % من إيراداتها على البحوث والتطوير (بينما تنفق شركات البرمجيات ما يزيد على 15 %). يتعيّن على الشركات إعادة ترتيب أولويات عملها في مجال البحوث والتطوير، لاسيّما في ما يتعلّق بالابتكارات المنخفضة الكربون، والتي سيتطلّب كثير منها التزامات طويلة الأجل. يمكن أن تدخل الشركات الكبرى في شراكة مع الباحثين الحكوميين من أجل تقديم الخبرة التجارية العملية ضمن جهود البحث.

كن رائدًا في تبنّي هذه الحلول. على غرار الحكومات، يمكن للشركات اللجوء إلى حجة أنها تشتري منتجات كثيرة لتسريع تبنّي التقنيات الجديدة. إلى جانب أمور أخرى، يمكن أن يشمل ذلك استخدام السيارات الكهربائية في العمليات اللوجستية التي تحتاج الشركات إليها، وشراء مواد ذات انبعاثات كربونية منخفضة لبناء مباني الشركة أو تجديدها، والالتزام باستخدام كمية معينة من الكهرباء النظيفة. لقد التزمت شركات كثيرة حول العالم استخدام الطاقة المتجدّدة في جزء كبير من عملياتها، بما في ذلك مايكروسوفت وغوغل وأمازون وديزني. وأعلنت شركة الشحن ميرسك (Maersk) أنها ستخفّض مجموع انبعاثاتها إلى الصفر بحلول العام 2050.

حتى لو كان من الصعب الوفاء بهذه الالتزامات، فإنها ترسل إشارات مهمّة إلى السوق حول قيمة تطوير مناهج خالية من الكربون، فيستشعر

المبتكرون هذا الطلب ويعرفون أنه ستكون لديهم سوق جاهزة لشراء منتجاتهم.

انخرِط في عملية صنع السياسات. ينبغي على الشركات ألَّا تخشى العمل مع الحكومات، كما لا شيء يبرّر خوف الحكومات من العمل مع الشركات. على الشركات أن تعمل لبلوغ نقطة الصفر وأن تموّل العلوم الأساسية وبرامج البحوث والتطوير التطبيقية التي ستوصلنا إلى هذا الهدف. ويكتسب هذا الأمر أهمية خاصة على خلفية التراجع في التمويل المخصّص لبرامج البحوث والتطوير في الشركات على مدى العقود الماضية.

تواصل مع البحوث المموّلة من الحكومة. على الشركات أن تقدّم المشورة في إطار برامج البحوث والتطوير الحكوميّة لكي تركّز البحوث الأساسية والتطبيقية على الأفكار التي لديها فرصة أكبر للتحوّل إلى منتجات. (لا أحد يعرف أكثر من الشركات التي تطوّر المنتجات وتسوّقها كلّ يوم، إذا ما كانت هذه المنتجات ستنجح أم لا). إنّ الانضمام إلى المجالس الاستشارية للصناعة والمشاركة في اجتماعات التخطيط هما طريقتان منخفضتا التكلفة لتثقيف برامج البحوث والتطوير الحكومية.

تساعد الشركات أيضًا في تمويل البحوث والتطوير من خلال اتفاقيات تقاسم التكاليف ومشاريع البحث المشتركة، وهو التعاون بين القطاعين العام والخاص الذي قدّم لنا التوربينات الغازية ومحرّكات الديزل المتطوّرة.

ساعِد المبتكرين في المراحل المبكرة على اجتياز العوائق. لا يحوّل كثير من الباحثين أفكارهم الواعدة إلى منتجات لأنّ العملية محفوفة بالمخاطر

أو مكلفة للغاية. يمكن للمؤسسات التجارية أن تساعد من خلال توفير الوصول إلى مرافق الاختبار الخاصة بها وتأمين البيانات الضرورية مثل مقاييس التكلفة. وإذا أرادت الشركات تقديم مزيد من الإسهامات، فبوسعها عرض زمالات وبرامج احتضان لروّاد الأعمال، والاستثمار في تكنولوجيا جديدة، وإنشاء فرق عمل تركّز بشكل خاص على الابتكار المنخفض الكربون، وتمويل مشاريع جديدة منخفضة الانبعاثات.

فكرة أخيرة

لسوء الحظ، أصبح الحديث عن التغيُّر المناخي موضع استقطاب بلا داعٍ، ناهيك عن غموض المعلومات المتضاربة والقصص المربكة. يجب أن نجعل المناقشة مدروسة وبنّاءةً أكثر، والأهم من ذلك كلّه أن تركّز على خطط واقعيّة ومحدّدة للوصول إلى نقطة الصفر.

ليتنا نملك اختراعًا سحريًّا بمقدوره توجيه المحادثات لتكون أكثر إنتاجيّة. بالطبع، هذا الجهاز غير متوافر. بدلًا من ذلك، الأمر عائد إلى كلٍّ منا.

آمل أن نتمكّن من تغيير النقاش من خلال مشاركة الحقائق مع الأشخاص في حياتنا - أفراد عائلاتنا وأصدقائنا، وقادتنا - وليس فقط الحقائق التي تخبرنا لماذا علينا التصرّف، بل أيضًا تلك التي توضّح لنا الإجراءات التي من شأنها أن تحقّق أفضل النتائج. إنّ أحد أهداف هذا الكتاب هو الحثّ على إجراء مزيدٍ من هذه النقاشات.

آمل أيضًا أن نتّحد لدعم الخطط التي تسدّ الثغرات التي تُحدثها الانقسامات السياسية. لقد حاولت أن أبيّن أنّ الأمر ليس بالسذاجة التي يبدو عليها. لم يقدّم أحد للسوق حلولًا فعّالة بشأن التغيُّر المناخي. سواء أكنت واثقًا

بالقطاع الخاص، أو بالتدخّل الحكومي، أو بالنضال، أو بمزيجٍ من الثلاثة، فهناك فكرة عملية بوسعك أن تؤيّدها. أما بالنسبة إلى الأفكار التي لا يسعك دعمها، فقد تشعر بالحاجة إلى التحدّث عنها علانيّة، وهذا مفهوم. بالرغم من ذلك، آمل أن تخصّص مزيدًا من الوقت والطاقة لدعم كلّ ما تفضّله بدلًا من معارضة شيء تناهضه.

لقد أرخى خطر التغيُّر المناخي بثقله علينا وقد يكون من الصعب أن نتأمّل في المستقبل. ولكن كما كتب صديقي هانز روسلينغ، المربّي الراحل والمدافع العالميّ عن الصحّة، في كتابه المذهل Factfulness: «عندما يكون لدينا وجهة نظر قائمة على الحقائق، بوسعنا أن نرى أنّ العالم ليس سيئًا كما يبدو وبوسعنا أن نرى ما يتعيّن علينا القيام به للاستمرار في تحسين هذا العالم».

حين يكون لدينا نظرة قائمة على الحقائق بشأن التغيُّر المناخي، نرى أنّ لدينا بعض الأشياء التي نحتاج إليها من أجل اجتناب كارثة مناخية، لكننا لا نملكها جميعها. بوسعنا أن نرى ما يقف في طريق تطبيق الحلول التي لدينا وتطوير الاختراقات التي نحتاج إليها. بوسعنا أن نرى العمل الذي يجب أن نقوم به كلّه للتغلّب على تلك العقبات.

أنا متفائل لأنني أعرف ما يمكن للتكنولوجيا أن تنجزه ولأنني أعرف ما الذي يستطيع الناس إنجازه. ألهمني جدًا كمّ الشغف الذي أراه في محاولة البحث عن حلّ لهذه المشكلة، خاصة في صفوف الشباب. إذا أبقينا أعيننا على الهدف الكبير - أيّ بلوغ نقطة الصفر - ووضعنا خططًا جادّة لتحقيق هذا الهدف، فبوسعنا اجتناب وقوع كارثة. بمقدورنا الحفاظ على مناخ محتمل

للجميع، ومساعدة مئات الملايين من الفقراء لكي يستفيدوا إلى أقصى حدّ من حياتهم، والحفاظ على كوكب الأرض للأجيال التالية.

خاتمة:

تغيُّر المناخ وكوفيد-19

انتهيت من العمل على هذا الكتاب في نهاية عام من أكثر الأعوام اضطرابًا في التاريخ الحديث. وفيما أكتب هذه الخاتمة في تشرين الثاني/ نوفمبر من العام 2020، كانت جائحة كوفيد-19 تودي بحياة أكثر من 1.4 ملايين نسمة حول العالم وتدخل موجة ثانية من الحالات والوفيات. لقد غيّرت جائحة كورونا الطريقة التي نعمل بها ونعيش بها والتي نتعامل بها معًا.

لكن، في الوقت نفسه، أتى العام 2020 بأسباب جديدة تدعو إلى الأمل بشأن التغيُّر المناخي. فمع انتخاب جو بايدن رئيسًا، تستعدّ الولايات المتّحدة لاستئناف دور قيادي في هذه القضيّة. أمّا الصين، فقد التزمت الهدف الطموح بأن تصبح خالية من الكربون بحلول العام 2060. وفي العام 2021، ستجتمع الأمم المتّحدة في اسكتلندا في قمّة رئيسة أخرى حول التغيُّر المناخي. كلّ هذا لا يضمن طبعًا أننا سنحقّق تقدّمًا، لكنّ الفرص قائمة.

أتوقّع أن أصرف وقتًا طويلًا في العام 2021 أتحدّث فيه مع القادة في جميع أنحاء العالم حول التغيُّر المناخي وجائحة كوفيد-19. سأوضّح لهم أنّ

كثيرًا من العِبَر المستفادة من الجائحة والقيم والمبادئ التي توجّه نهجنا حيالها تنطبق أيضًا على التغيُّر المناخي. ومع أنني قد أبدو كمن يكرّر نفسه حين أعيد ما ذكرته في بداية الكتاب، سألخّص في ما يلي العِبَر المستفادة.

أولًا، نحن في حاجة إلى تعاون دولي. من السهل رفض عبارة «علينا العمل معًا» باعتبارها كلامًا مبتذلًا، لكنها صحيحة. عندما عملت الحكومات والباحثون وشركات الأدوية معًا لمواجهة جائحة كوفيد-19، أحرز العالم تقدّمًا ملحوظًا، مثل تطوير اللقاحات واختبارها في وقت قياسي. عندما لم يتعلّم بعضنا من بعضنا الآخر وقمنا، بدلًا من ذلك، بازدراء بلدان أخرى، أو رفضنا القبول بأن الأقنعة والتباعد الاجتماعي يبطئان من انتشار الفيروس، قمنا فعليًّا بتمديد البؤس.

ينطبق الأمر نفسه على التغيُّر المناخي. إذا كانت الدول الغنيّة تقلق بشأن خفض انبعاثاتها فقط، ولا تعمل على جعل التقنيات النظيفة عملية للجميع، فلن نصل إلى نقطة الصفر أبدًا. بهذا المعنى، فإنّ مساعدة الآخرين ليست مجرّد فعلٍ إيثاري، بل هي أيضًا لمصلحتنا الذاتية. فلدينا جميعنا أسباب للوصول إلى نقطة الصفر ولمساعدة الآخرين على تحقيق ذلك أيضًا. لن تتوقّف درجات الحرارة عن الارتفاع في تكساس إذا لم تتوقّف الانبعاثات عن الارتفاع في الهند.

ثانيًا، نحتاج إلى أن ندع العلم - بالأحرى كثيرًا من العلوم المختلفة - يرشد جهودنا. في حالة جائحة كوفيد-19، نتطلّع إلى علم الأحياء وعلم الفيروسات وعلم العقاقير، بالإضافة إلى العلوم السياسية والاقتصادية، فتحديد كيفيّة توزيع اللقاحات بشكل عادل هو بطبيعته عمل سياسي بامتياز. يخبرنا علم الأوبئة عن أخطار كوفيد-19 وليس عن كيفيّة علاجه، يخبرنا علم

المناخ لماذا نحتاج إلى تغيير المسار وليس كيفيّة القيام بذلك. لتحقيق هذا التغيير، يجب أن نعتمد على الهندسة والفيزياء وعلوم البيئة والاقتصاد وغيرها من العلوم.

ثالثًا، يجب أن تلبّي حلولنا احتياجات الناس الأكثر تضرّرًا. في موضوع جائحة كوفيد-19، الأشخاص الذين يعانون أكثر من غيرهم هم الذين لديهم خيارات أقل؛ العمل من المنزل، على سبيل المثال، أو أخذ إجازة لكي يهتموا بأنفسهم أو بأحبائهم. ومعظمهم من الملوّنين وذوي الدخل المنخفض.

في الولايات المتّحدة، السود واللاتينيون أكثر عرضة، بشكل غير متناسب مع السكان الآخرين، لأن يصابوا بفيروس كورونا المستجد وأن يموتوا بسببه. كما أنّ الطلاب السود واللاتينيين أقل احتمالًا للالتحاق بالمدرسة عبر الإنترنت من أقرانهم البيض. أضف إلى ذلك أنه بين متلقّي الرعاية الطبية يسجّل معدّل الوفيات الناجمة عن مرض كوفيد-19 ارتفاعًا بمعدل أربعة أضعاف بين الفقراء. لذلك، يُعتبر سدّ هذه الثغرات عاملًا أساسيًّا للسيطرة على الفيروس في الولايات المتّحدة.

على الصعيد العالمي، ألغى مرض كوفيد-19 عقودًا من التقدّم في مكافحة الفقر والمرض. ففيما تحرّكت الحكومات للتعامل مع الجائحة، اضطرّت أن توقف الدعم البشري والمالي لأولويات أخرى، بما في ذلك برامج التلقيح. وقد وجدت دراسة أجراها معهد المقاييس الصحية والتقييم أنه في العام 2020، انخفضت معدلات التلقيح إلى مستويات سُجّلت للمرّة الأخيرة في التسعينيات. لقد فقدنا 25 عامًا من التقدّم في حوالى 25 أسبوعًا.

إنّ الدول الغنيّة، السخية في عطاءاتها من أجل الصحة العالمية، ستحتاج إلى أن تكون أكثر سخاء لتعويض هذه الخسارة. كلما استثمرت في

تعزيز النظم الصحية في جميع أنحاء العالم، كنّا أكثر استعدادًا لمواجهة الجائحة التالية.

بالطريقة نفسها، نحن في حاجة إلى التخطيط للانتقال إلى مستقبل خالٍ من الانبعاثات. كما ذكرت في الفصل التاسع، يحتاج الناس في البلدان الفقيرة إلى المساعدة للتكيّف مع عالم أدفأ. يتعيّن على البلدان الأكثر ثراءً الاعتراف بأنّ تحوّل الطاقة سيُحدث اضطرابًا في المجتمعات التي تعتمد على أنظمة الطاقة الحالية: كالمناطق التي يكون فيها تعدين الفحم هو الصناعة الرئيسة، وحيث يُصنع الإسمنت، أو يُصهر الفولاذ، أو تُصنع السيارات. بالإضافة إلى ذلك، فإنّ كثيرًا من الأشخاص لديهم وظائف تعتمد بشكل غير مباشر على تلك الصناعات. عندما تنخفض كميات الفحم والوقود المخصّصة للتنقل، سيقلّ عدد الوظائف المتوافرة لسائقي الشاحنات وعمّال سكك الحديد. كما سيتأثّر جزء كبير من اقتصاد الطبقة العاملة، لذلك ينبغي وضع خطة انتقاليّة لتلك المجتمعات المحليّة.

وأخيرًا، نحن قادرون على القيام بما ينبغي لإنقاذ الاقتصادات من كارثة كوفيد-19 واللجوء إلى الابتكار لاجتناب كارثة مناخية. فمن خلال الاستثمار في البحوث والتطوير في مجال الطاقة النظيفة يمكن للحكومات تعزيز الانتعاش الاقتصادي الذي يساعد أيضًا في تقليل الانبعاثات. وبالرغم من أنّ التأثير الأكبر للإنفاق على البحوث والتطوير يظهر على المدى الطويل، إلَّا أنّ له تأثيرًا فوريًّا أيضًا وهو أنّ هذا المال يوجِد الوظائف بسرعة. في العام 2018، دعم استثمار حكومة الولايات المتحدة في جميع قطاعات البحوث والتطوير بشكل مباشر وغير مباشر أكثر من 1.6 ملايين وظيفة، ما أدّى إلى إنتاج 126 مليار دولار من الدخل للعمّال و39 مليار دولار من الإيرادات للضرائب الفدرالية والولايات.

البحوث والتطوير ليسا المجالين الوحيدين اللذين يرتبط بهما النمو الاقتصادي بابتكار خالٍ من الكربون، إذ يمكن للحكومات أيضًا مساعدة شركات الطاقة النظيفة على النمو من خلال اعتماد سياسات تخفّض العلاوات الخضراء، وتسهّل على المنتجات الخضراء منافسة تلك المعتمدة على الوقود الأحفوري. كما بوسعها استخدام التمويل من حزم الإغاثة الخاصة بفيروس كوفيد-19 لتوسيع استخدام مصادر الطاقة المتجدّدة وبناء شبكات كهرباء متكاملة.

شكل العام 2020 نكسة كبيرة ومأسوية. لكنني متفائل بأننا سنسيطر على جائحة كوفيد-19 في العام 2021. وأنا متفائل بأننا سنحقّق تقدمًا حقيقيًّا بشأن التغيُّر المناخي لأنّ العالم ملتزم بحلّ هذه المشكلة أكثر من أيّ وقت مضى.

عندما دخل الاقتصاد العالمي في ركود حادّ في العام 2008، انخفض الدعم العام للإجراءات الخاصة بالتغيُّر المناخي إذ لم يستطع الناس معرفة كيفية الاستجابة لكلتا الأزمتين في آن.

هذه المرّة مختلفة، فعلى الرغم من أنّ الوباء دمّر الاقتصاد العالمي، إلَّا أنّ الدعم للقيام بخطوات في قضية التغيُّر المناخي ما يزال مرتفعًا تمامًا كما كان في العام 2019. يبدو أنّ انبعاثاتنا لم تعد مشكلة نتراجع عن حلّها في منتصف الطريق.

السؤال الذي يطرح نفسه الآن هو: ماذا يجب أن نفعل بهذا الزخم؟ بالنسبة إليّ، الإجابة واضحة. يجب أن نخصّص العقد المقبل للتركيز على التقنيات والسياسات وهياكل السوق التي ستضعنا على الطريق الصحيح نحو القضاء على غازات الاحتباس الحراري بحلول العام 2050. من الصعب التفكير

في استجابةٍ أفضل للعام 2020 البائس من قضاء السنوات العشر المقبلة في الانكباب على تحقيق هذا الهدف الطموح.

شكر

أودّ أن أشكر جميع العاملين في «غيتس فينتشرز» (Gates Ventures) و«بريكثرو إنيرجي» (Breakthrough Energy) الذين ساهموا في تحقيق مشروع كتاب «كيف نجتنب كارثة مناخية».

مشاركة جوش دانيل في الكتابة لا تُقدّر بثمن. لقد ساعدني على التعبير عن تعقيدات التغيُّر المناخي والطاقة النظيفة بأسهل وأوضح طريقة ممكنة. إن كان هذا الكتاب بالفاعلية التي أتمناها، فذلك بفضل مهارة جوش.

لقد ألّفت هذا الكتاب لأنني أردت تشجيع العالم على تبنّي خطط فعّالة للتصدّي لمشكلة التغيُّر المناخي. وفي إطار هذا الجهد، لم أجد شريكًا أفضل لي من جونا غولدمان وفريقه، وأخصّ بالذكر روبن ميليكان ومايك بوتس ولورين نيڤين. لقد زوّدوني بنصائح قيِّمة حول السياسات والاستراتيجيات المناخية حرصًا على أن يكون للأفكار الواردة في هذا الكتاب الأثر المنشود.

قاد إيان ساندرز الإجراءات الإبداعية والإنتاجية بالبراعة المعهودة لديه. صمّم أنو هورسمان وبرنت كريستوفرسون الرسوم البيانية - بمساعدة خبيرة

من «بيوند ووردز» (Beyond Words) - واختارا الصور التي تساعد على إحياء هذا الكتاب.

بريدجيت أرنولد وأندي كوك بالحملة الإعلانية.

أدار لاري كوهين كلّ هذا العمل بهدوئه وحكمته المعتادين.

قدّم فريق «روديوم غروب» (Rhodium Group)، بقيادة تريڤور هاوسر وكايت لارسن، مساعدةً استثنائية. تتجلّى بحوثهم ونصائحهم في أجزاء هذا الكتاب كافة.

أشكر أيضًا جميع أعضاء مجلس إدارة «بريكثرو إنيرجي فينتشرز» (Breakthrough Energy Ventures): موكيش أمباني، جون أرنولد، جون دوور، رودي ڤيديرو، أبي جونسون، ڤينود خوسلا، جاك ما، هاسو پلاتنر، كارمايكل روبرتس، وإريك تون.

جايب بلومنثل وكارين فرايز هما الزميلان السابقان لمايكروسوفت اللذان نظّما لي أوّل جلسة تثقيف حول التغيُّر المناخي في العام 2006. في تلك الجلسة، تعرّفت بواسطتهما إلى اثنين من علماء المناخ، كين كالديرا – الذي كان يعمل في مؤسسة كارنيجي للعلم آنذاك - وديڤيد كيث من مركز البيئة في جامعة هارفرد. منذ ذلك الحين، أجريت محادثات كثيرة مع كين وديڤيد وعلى أساس حواراتنا تشكّلت أفكاري.

كان كين وفريق من زملائه- في مرحلة ما بعد الدكتوراه - كانديس هنري، ريبيكا پير، وتايلر روغلز - قد راجعوا المسوّدة بأدق التفاصيل للتحقّق

من عدم وجود أخطاء في الوقائع. أنا أشكرهم على عملهم الدقيق. أيّ أخطاء وردت هنا تبقى مسؤوليتي الشخصية.

الراحل ديڤيد ماك كاي من جامعة كامبريدج ألهمني بنبوغه ورؤاه. وأوصي بكتابه الرائع «الطاقة المستدامة - بدون الهواء الساخن» لكلّ من يرغب بالتعمّق في موضوع الطاقة وتغيُّر المناخ.

ڤاكلاڤ سميل، أستاذ فخري في جامعة مانيتوبا، هو أحد أفضل مفكّري الأنظمة الذين قابلتهم في حياتي. تأثيره على هذا الكتاب واضح بشكل خاص في مقاطع تاريخ تحولّات الطاقة، وفي الأخطاء التي ساعدني على اجتنابها.

أعتبر نفسي محظوظًا لأنني استطعت أن ألتقي عددًا من ذوي المعرفة الواسعة على مرّ السنين وأن أتعلّم منهم. أشكر السيناتور لامار ألكسندر، جوش بولتن، كارول براونر، ستيڤن تشو، آرون ماجومدار، إرنست مونيز، السيناتور ليزا موركوڤسكي، هنري پولسون، وجون پوديستا لكونهم قد تكرّموا عليّ بوقتهم.

ناثان ميرڤولد أعطاني آراء مدروسة حول مسوّدة أوّلية. لا يتردّد ناثان أبدًا في قول رأيه الصريح، وهي ميزة أقدّرها دائمًا، حتى عندما لا آخذ بنصيحته.

هناك عدد من الأصدقاء والزملاء الآخرين الذين كرّسوا الوقت لقراءة المسوّدة وتقديم آرائهم، بمن فيهم وارن بافيت، شيلا ڠولاتي، شارلوت ڠيمان، جيوف لامب، براد سميث، مارك سانت جون، مارك سوزمان، ولويل وود.

وأود أن أشكر باقي أعضاء الفريق في «بريكثرو إنرجي»: ميغان بادر، جولي بارجر، آدم بارنز، فرح بن أحمد، كين كالديرا، سعد شودري، جاي

ديسي، غايل إيزلي، بن غادي، أشلي غروش، جون هاغ، كونور هاند، أليبا هاك، ڤيكتوريا هانت، آنا هورليمان، كريستوف إغناسيوك، كاميلا جينكنز، كريستي جونز، كايسي ليبر، إيڤان لي، دان ليڤنغود، جنيفر مايس، ليديا ماكونن، ماريا مارتينيز، آن ميتلر، تريشا ميلر، كاسپر مولر، دانيال مولدرو، فيليپ أوفنبرغ، دانيال أولسن، ميريبل أوندريكا، جوليا رينو، بن رويي دورفوي، ديليپ سيڤام، جيم ڤانديپوت، ديماريس ويبستر، بايانان شيا، إيشينغ شو، وأليسون زيلمان.

أنا ممتن لكل الدعم الذي أحصل عليه من الفريق في «غيتس فينتشرز». بفضل كاثرين أوڤستين، لورا آيرز، بيكي بارتلين، شارون بيرجكويست، ليزا بيشوب، أوبري بوغدونوڤيتش، نيرانجان بوس، هيلاري باوندز، برادلي كاستانيدا، كوين كورنيليوس، زيفيرا ديڤيس، برثنا ديساي، پيا ديركنغ، غريغ إسكنازي، سارة فوزمو، جوش فريدمان، جوانا فولر، ميغان غروب، رودي غيديرو، روب غوث، ديان هينسون، توني هولشر، مينا هوغان، مارغريت هولسنجر، جيف هوستون، تريشيا جيستر، لورين جيلوتي، كلوي جونسون، غوثام كاندرو، ليزل كيل، ميريديث كيمبل، تود كراهينبول، جين كرايبسيك، جيوف لامب، جين لانغستون، جوردن ليروم، جاكوب لايميستال، آبي لوس، جيني ليمان، مايك ماغواير، كريستينا مالزبندر، غريغ مارتينز، نيكول ماكدوغال، كيم ماكغي، إيما ماكهيو، كيري ماكنليس، جو مايكلز، كريغ ميلر، راي مينشو، ڤاليري مورنز، جون مورفي، ديلون مايدلاند، كايل نيتلبلادت، پول نيڤين، پاتريك أوينز، هانا پالكو، موكتا فاتاك، ديڤيد فيليپس، توني پاوند، بوب ريغان، كيت ريزنر، أوليڤر روثشايلد، كاتي روپ، ماهين ساهو، أليشا سالموند، براين ساندرز، كي جي شيرمان، كيڤن سمالوود، جاكلين سميث، ستيف سپرينغماير، رايتشل ستريدج، خيوتا ثيّرين، كارولاين

تيلدن، شون ويليامز، سانرايز سوانسون ويليامز، ياسمين وزير، كايلين وايات، ماريا يونغ، وناعومي زوكور.

أودّ أن أشكر الفريق في «نوف» (Knopf). إنّ دعم بوب غوتليب المبكر لهذا الكتاب حفّزني على إنجازه. كلّ ما سمعتموه عن تحريره الرائع صحيح. اهتمّت كاثرين هوريغان بهذا الكتاب في كلّ مرحلة من مراحل التحرير والإنتاج بمهارة وسلاسة. أشكر أيضًا الراحل سوني ميهتا، ريغان آرثر، مايا مافجي، توني شيريكو، أندي هيوز، پول بوغاردز، كريس غيلسبي، ليديا بويشلر، مايك كوليكا، جون غال، سوزان سميث، سيرينا ليمان، كايت هيوز، آن أتشينباوم، جيسيكا پورسيل، جوليان كلانسي، وإليزابيث برنارد. وأشكر ليزي غوتليب لتقديمها هذا المشروع لوالدها.

وأخيرًا، أودّ أن أشكر ميليندا، جن، روري، وفيبي؛ أخواتي كريستي وليبي؛ ووالدي بيل غيتس الأب، الذي توفي في أثناء تأليف هذا الكتاب. ما كنت لأطمع بعائلة أكثر محبةً ودعمًا.

ملاحظات

مقدِّمة: من 52 مليارًا إلى صفر

11 الصورة: 12 James Iroha الرسم: **الناتج القومي والطاقة الكهربائية أمران متلازمان**: يستخدم هذا الرسم البياني بيانات من مؤشرات التنمية العالمية للبنك الدولي، المرخصة بموجب CC BY 4.0 (https://www.creativecommons.org/licenses/by/4.0) والمتاحة على موقع https://data.worldbank.org/. تمّ قياس الدخل على أنّه الناتج المحلي الإجمالي للفرد الواحد في العام 2014، استنادًا إلى تعادل القوة الشرائية (PPP)، بالدولارات الدوليّة الجارية. كما تم قياس استخدام الطاقة الكهربائية بما يعادلها بكيلوغرامات النفط للفرد الواحد في عام 2014، بناءً على بيانات وكالة الطاقة الدولية الصادرة من مؤشرات التنمية العالمية للبنك الدولي. كل الحقوق محفوظة؛ بصيغتها المعدلة بموجب شركة Gate Ventures المحدودة المسؤوليّة.

18 الصورة: إطلاق **Mission Innovation** (مهمة ابتكار): من اليسار إلى اليمين (كانت الألقاب تستخدم في الوقت الذي أقيم فيه المؤتمر في العام

2015)؛ وزير العلوم والتكنولوجيا وان غانغ (الصين)؛ وزير البترول والثروة المعدنية علي النعيمي (السعودية)؛ رئيسة الوزراء إرنا سولبرغ (النرويج)؛ رئيس الوزراء شينزو آبي (اليابان)؛ الرئيس جوكو ويدودو (إندونيسيا)؛ رئيس الوزراء جاستن ترودو (كندا)؛ بيل غيتس؛ الرئيس باراك أوباما (الولايات المتحدة)؛ الرئيس فرانسوا هولاند (فرنسا)؛ رئيس الوزراء ناريندرا مودي (الهند)؛ الرئيسة ديلما روسيف (البرازيل)؛ الرئيسة ميشال باشليت (شيلي)؛ رئيس الوزراء لارس لوكه راسموسن (الدنمارك)؛ رئيس الوزراء ماتيو رينزي (إيطاليا)؛ الرئيس إنريكي بينيا نييتو (المكسيك)؛ رئيس الوزراء ديفيد كاميرون (المملكة المتحدة)؛ وزير دولة والمبعوث الخاص للطاقة والتغير المناخي سلطان الجابر (الإمارات العربية المتحدة). الصورة: Ian Langsdon/AFP via Getty Images.

الفصل الأوّل: لماذا نقطة الصفر؟

28 الرسم: الخطوط الثلاثة التي عليك معرفتها: مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) متوسط درجة الحرارة العالمية غير الطبيعية الصادر عن معهد الأحوال الجوية التابعة للمعهد الملكي الهولندي للأرصاد الجوية (KNMI). يقاس تغّير درجة الحرارة بالدرجات المئوية.

31 الرسم: تواصل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الارتفاع: بيانات تغير متوسط درجة الحرارة المحتسبة بالدرجات المئوية، نسبة إلى تغير متوسط درجة الحرارة بين العامين 1951-1980 مصدرها مؤسسة بيركلي إيرث، berkeleyearth.org؛ بيانات ثاني أكسيد الكربون المحتسبة بالأطنان المترية مأخوذة من ميزانية الكربون العالمية Global Carbon Budget 2019 by Le

Quéré, Andrew et al., which is licensed under CC BY 4.0 (https://www.creativecom mons.org /licenses/by/4.0) and available at /https://essd.copernicus.org/articles /11 /1783/2019

34 الصورة: Photo: AFP via Getty Images.

35 بالاستناد إلى الحكومة الأميركية: Donald Wuebbles, David Fahey, and Kathleen Hibbard, National Climate Assessment 4: Climate Change Impacts in the United States (U.S. Global Change Research Program, 2017).

36 بحسب البحث: "The Projected Effect on Insects, Vertebrates, and Plants of Limiting Global Warming to 1.5°C Rather than 2°C," Science, May 18, 2018.

37 الذرة حساسة بشكل خاص: موقع عالم الذرة، نشرته الرابطة الوطنية لمزارعي الذرة، 37 worldofcorn.com في ولاية آيوا وحدها: Iowa Corn Promotion Board website, www.iowacorn.org 41 الجفاف هو أكثر بمعدل ثلاثة أضعاف: Colin P. Kelley et al., "Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the Recent Syrian Drought," PNAS, March 17, 2015.

41 إحدى الدراسات المعنية: Anouch Missirian and Wolfram Schlenker, "Asylum Applications Respond to Temperature Fluctuations," Science Dec. 22, 2017.

الفصل الثاني: الدرب شاقة

46 الصورة: dem10/E+ via Getty Images and lessydoang/RooM via Getty Images.

48 إليك المعادلة الحسابية: U.S. Energy Information Administration, www.eia.gov 49 الرسم: مكان تركُّز الانبعاثات: غازات الدفيئة المحتسبة بالأطنان المترية من مكافئات ثاني أكسيد الكربون (CO2e) من مجموعة روديوم. يستخدم هذا الرسم البياني أيضًا بيانات السّكان في التوقعات السكانية العالمية الصادرة عن الأمم المتحدة للعام 2019، المرخصة بموجب الرمز CC BY 3.0 IGO (https://cre ative commons .org/licenses/by/3.0/igo/) and available at https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/

50 الصورة: Paul Seibert.

51 الصورة: ©Bill & Melinda Gates Foundation/Prashant Panjiar.

43 بعض المناطق في آسيا: Vaclav Smil, Energy Myths and Realities (Wash-ington, D.C.: AEI Press, 2010), 136– 37.

43 قد أخذ وقتًا طويلًا: المرجع نفسه ص 138.

52 الرسم: استغرقت عملية التكيُّف مع مصادر الطاقة الجديدة وقتًا طويلًا: تشمل مصادر الطاقة المتجددة الحديثة طاقة الرياح والطاقة الشمسية والوقود الحيوي الحديث. المصدر: Vaclav Smil, Energy Transitions (2018).

52 اتخذ الغاز الطبيعي المسار نفسه: المرجع نفسه.

53 اعتبر بعض العلماء: Xiaochun Zhang, Nathan P. Myhrvold, and Ken Caldeira, "Key Factors for Assessing Climate Benefits of Natu-ral Gas Versus Coal Electricity Generation," Environmental Research Letters , Nov. 26, 2014, iopscience.iop.org 58 حوالى 300 مليون طن: تحليل مجموعة روديوم.

الفصل الثالث: خمسة أسئلة تُطرح في الحوارات كافة بشأن المناخ

66 الجدول: ما هو مقدار الطاقة المستهلكة؟: تظهر الأرقام متوسط استهلاك الطاقة. ستكون ذروة الطلب أعلى؛ مثلاً، في عام 2019، بلغ ذروة الطلب في الولايات المتحدة 704 جيغاواط. للمزيد من المعلومات راجع موقع إدارة الطاقة الأميركية (www.eia.gov).

73 في الولايات المتحدة: Taking Stock 2020: The COVID-19 Edition, Rhodium Group, https://rhg.com الفصل الرابع: الوصل بالقابس

76 الصورة: تقديم عائلة غايتس.

77 الرسم: يفتقر ٨٦٠ مليون شخص إلى إمكانية الوصول إلى الطاقة الكهربائية الموثوقة. بالاستناد الى بيانات من IEA IEA (2020), SDG7: Data and Projections, IEA 2020, www.iea.org/statistics. All rights reserved; as modified by Gates Ven-tures, LLC.

78 عندما تغمر المياه الأرض: “Green-house Gases, Climate Change, and the Transition from Coal to Low- Carbon Electricity,” Environmental Research Letters, Feb. 16, 2012, iopscience.iop.org 79 الرسم: تأمين الطاقة الكهربائية للعالم كله: يشمل قطاع الطاقة المتجددة طاقة الرياح والطاقة الشمسية والحرارة الأرضية والوقود الحيوي الحديث. المصدر: bp Statistical Review of World Energy 2020, https://www.bp.com 79 أثبتت إحدى الدراسات: Vaclav Smil, Energy and Civilization (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2017), 406.

80 الصورة: Universal Images Group via Getty Images.

80 شكّلت هذه النفقات الضريبية: “Analysis of Federal Incentives Used to Stimulate Energy Production: An Executive Summary,” Feb. 1980, www.osti.gov. Calculation adjusts subsidies for coal and natural gas to 2019 dollars.

80 اتّخذت معظم الدول خطوات متنوّعة: Wataru Matsumura and Zakia Adam, “Fossil Fuel Consumption Subsidies Bounced Back Strongly in 2018,” IEA commentary, June 13, 2019.

82 تمامًا كما هي الحال في أوروبا: البيانات المستحصل عليها من “Decar-bonisation Pathways, May 2018, cdn.eurelectric.org”

88 الطاقة الشمسية المولّدة: فراونهوفر 88 www.energy-charts.de نقل الفائض إلى الدول المجاورة: Zeke Turner, “In Central Europe,

Germany’s Renewable Revolution Causes Friction,” Wall Street Journal, .Feb. 16, 2017

96 الرسم: ماذا يتطلّب: وزن المواد المحتسب بالأطنان المترية، لكل تيراواط/ساعة من الكهرباء المولدة. يشير مصطلح «الطاقة الشمسية الكهروضوئية» إلى الألواح الشمسية الكهروضوئية، التي تحوّل نور الشمس إلى كهرباء. المصدر: Source: U.S. Department of Energy, Quadrennial Technology Review: An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities (2015), https://www.energy.gov 98 الرسم: هل الطاقة النووية خطيرة؟ يستخدم هذا الرسم معلومات من: This graph uses data from Deaths per TWh by Markandya & Wilkinson; Sovacool et al., which is licensed under CC BY 4.0 (https://www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/) and available at https://ourworldindata.org/grapher/death-rates-from-energy -production-per-twh 101 تكثر في الولايات المتحدة الرياح البحرية القوية: وزارة الطاقة الأميركية، U.S. Department of Energy, “Computing America’s Offshore Wind Energy Potential,” Sept. 9, 2016, www.energy.gov 102 في كتابه المذهل الصادر في العام 2009: David J. C. MacKay, Sustainable Energy— Without the Hot Air (Cambridge, U.K.: .UIT Cambridge, 2009), 98, 109

106 في جميع الاحتمالات: تقرير دراسة بتوافق الآراء، “Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda,” .National Academies of Science, Engineering, and Medicine, 2019

الفصل الخامس: كيف نصنع الأشياء؟

111 تبلغ زنة كلّ منها آلاف الأطنان: Washington State Department of Trans-portation, www.wsdot.wa.gov 112 الصورة: WSDOT.

112 في المرة المقبلة التي تشاهد فيها: "Statue Statistics," Statue of Liberty National Monument, New York, National Park Service, www.nps.gov 112 حاول توماس إديسون ابتكار: Vaclav Smil, Making the Modern World (Chichester, U.K.: Wiley, 2014), 36

113 الرسم: تصنّع الصين كميات هائلة من الإسمنت: تقاس بالأطنان المترية من إنتاج الإسمنت المصدر: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, T. D. Kelly, and G. R. Matos, comps., 2014, "Historical Statis-tics for Mineral and Material Commodities in the United States" (2016 version): U.S. Geological Survey Data Series 140, accessed December 6, 2019; USGS Minerals Yearbooks—China (2002, 2007, 2011, 2016), https://www .usgs.gov 114 ويسهم البلاستيك أيضًا: American Chemistry Council, "Plastics and Polymer Composites in Light Vehicles," Aug. 2019, www.automotiveplastics.com 114 الصورة: REUTERS/Carlos Barria.

118 تعتبر الصين المنتج الأكبر:: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, "Mineral Commodity Summaries 2019."

118 ما بين عامنا الحالي والعام 2050: Freedonia Group, “Global Cement— Demand and Sales Forecasts, Market Share, Market Size, Market Leaders,” May 2019, www.freedoniagroup.com 121 جدول: العلاوات الخضراء للبلاستيك، والفولاذ والإسمنت: الانبعاثات المباشرة فقط؛ تُستثني الانبعاثات الناتجة عن الكهرباء. المصدر: مجموعة روديوم.

الفصل السادس: الزراعة وتربية الماشية

128 علينا أن نتصدّى أيضًا: التحليل الداخلي لمجموعة روديوم.

129 البحث عن سبل لإطعام البشرية: Paul Ehrlich, The Population Bomb (New York: Ballantine Books, 1968) 129 فبعد ظهور كتاب: World Bank, data.worldbank.org 129 تُنفِق حاليًا الأسرة المتوسّطة: Derek Thompson, “Cheap Eats: How America Spends Money on Food,” The Atlantic, March 8, 2013, www.theatlantic.com 131 الرسم: معظم الدول لا تستهلك كمية لحوم أكبر: يقاس الاستهلاك بالأطنان المترية من اللحوم، والتي تشمل لحم البقر والضأن ولحم الخنزير والدواجن ولحم العجل. OECD (2020), OECD-FAO Agricultural Outlook, https://stats.oecd.org (accessed October2020).

133 في مختلف أنحاء العالم: منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة، www.fao.org 134 «الوجبة المخصّصة لتذوّق الطعام»: UNESCO, “Gastronomic Meal of the French,” ich.unesco.org 135 التكلفة الوسطيّة لبديل اللحم المفروم: مسح عبر الإنترنت لأسعار التجزئة الأميركية في أيلول 2020 أجرته مجموعة روديوم.

138 الصورة: Gates Notes, LLC.

139 الرسم: ثمة ثغرة هائلة في القطاع الزراعي: تقاس بآلاف الكيلوغرامات (كجم) من الذرة لكل هكتار (هكتار). المصدر: منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة. FAOSTAT. OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029. November 30, 2020. Accessed: November 2020. https://stats.oecd.org/Index.aspx?dataset code=HIGH_AGLINK _2020

142 بحسب البنك الدولي: World Bank Development Indicators, databank.worldbank.org.

143 دراسة أجراها معهد الموارد العالمية: Janet Ranganathan et al., “Shifting Diets for a Sustainable Food Future,” World Resources Insti-tute, www.wri.org.

143 ولهذا السبب: World Resources Institute, “Forests and Landscapes in Indonesia,” www.wri.org

الفصل السابع: وسائل النقل

149 بالاستناد إلى توقّعات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية: https://www.oecd-ilibrary.org/

150 الرسم: ساهم انتشار فيروس كوفيد - 19 في إبطاء: الانبعاثات التاريخية المقدمة من مجموعة روديوم. الانبعاثات المتوقعة بناءً على بيانات وكالة الطاقة الدولية من: IEA (2020), World Energy Outlook, IEA 2020,

www.iea.org/statistics. All rights reserved; as modified by Gates Ventures, .LLC

152 الرسم: ليست السيارات المسؤولة الوحيدة عن الانبعاثات. المصدر: يستخدم هذا الرسم البياني بيانات من مركبات Beyond Road: مسح لخيارات التكنولوجيا الخالية من الانبعاثات عبر قطاع النقل من هول، بافلينكو، ولوتسي، المرخص بموجب: which is licensed under CC BY-SA 3.0 (https://www.creativecommons.org/licenses/by -sa /3.0/) and available at https://theicct.org/sites/default/files

152 /publications/Beyond_Road_ZEV_Working_Paper_20180718.pdf عدد المركبات... يفوق المليار: المنظمة الدولية لمصنعي السيارات (OICA), 152 www.oica.net ففي العام 2018: يفترض هذا إضافة إجمالية قدرها 69 مليون سيارة سنويًا بحسب OICA ويبلغ عدد حالات التقاعد حوالي 45 مليونًا، ويبلغ العمر الافتراضي للمركبات 13 سنة.

153 الرسم: شفروليه مقابل شفروليه: مواصفات شيفروليه ماليبو وبولت EV في العام 2020. المصدر: https://www.chevrolet.com Illustrations .©izmocars—All rights reserved

154 عند مراعاة: يفترض بحسب سعر الميل أن المشتري يدفع متوسط سعر شراء السيارة، ويمتلكها لمدة سبع سنوات، ويقود ما معدله 12000 ميل في السنة. المصدر: مجموعة روديوم.

157 جدول: العلاوة الخضراء لاستبدال البنزين بالوقود الحيوي المتقدّم: مجموعة روديوم، بحوث الطاقة المتطورة، IRENA, Agora Energiewende.

158 جدول: علاوات خضراء لاستعمال بدائل خالية من الكربون بدلًا من البنزين: مجموعة روديوم، بحوث الطاقة المتطورة، IRENA, Agora Energiewende. تمثل أسعار التجزئة السعر الوسطي في الولايات المتحدة ما بين العامين 2015 و2018. تعكس الخيارات الخالية من الكربون الأسعار الحالية المقدّرة.

158 تنفق الأسرة النموذجية: U.S. Energy Information Administration, www.eia.gov 158 مدينة شينزين في الصين: Michael J. Coren, “Buses with Batteries,” Quartz, Jan. 2, 2018, www.qz.com.

159 الصورة: Bloomberg via Getty Images.

159 بالاستناد إلى دراسة... في العام 2017: Shashank Sripad and Venkatasubramanian Viswanathan, “Performance Metrics Required of Next- Generation Batteries to Make a Practical Electric Semi Truck,” ACS Energy Letters, June 27, 2017, pubs.acs.org 160 علاوات خضراء لاستعمال بدائل خالية من الكربون بدلًا من الديزل: مجموعة روديوم، بحوث الطاقة المتطورة، IRENA, Agora Energiewende. تمثل أسعار التجزئة السعر الوسطي في الولايات المتحدة ما بين العامين 2015 و2018. تعكس الخيارات الخالية من الكربون الأسعار الحالية المقدّرة.

161 في المقابل، يمكن لطائرة البوينغ 787 المتوسطة الطاقة الاستيعابية: Boeing, www.boeing.com 162 جدول: علاوات خضراء لاستبدال بدائل خالية من الكربون بوقود الطائرات: مجموعة روديوم، بحوث الطاقة المتطورة، IRENA, Agora Energiewende. تمثل أسعار التجزئة السعر الوسطي في الولايات المتحدة ما بين العامين 2015 و2018. تعكس الخيارات الخالية من الكربون الأسعار الحالية المقدّرة.

162 ينطبق الأمر نفسه على سفن الحاويات: Kyree Leary, “China Has Launched the World’s First All- Electric Cargo Ship,” Futurism, Dec. 5, 2017, futurism .com; “MSC Receives World’s Largest Container Ship MSC Gulsun from SHI,” Ship Technology, July 9, 2019, www.ship-technology.com 162 جدول: علاوات خضراء لاستبدال بدائل خالية من الكربون بزيت الوقود: مجموعة روديوم، بحوث الطاقة المتطورة، IRENA, Agora Energiewende. تمثل أسعار التجزئة السعر الوسطي في الولايات المتحدة ما بين العامين 2015 و2018. تعكس الخيارات الخالية من الكربون الأسعار الحالية المقدّرة.

163 جدول: علاوات خضراء لاستبدال بدائل خالية من الكربون بزيت الوقود: المصدر نفسه.

165 في العام 2021، اشترينا ما يزيد عن 3 ملايين سيارة: S&P Global Market Intel-ligence, https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/

الفصل الثامن: وسائل التدفئة والتبريد

167 يحاول الإنسان: A. A’zami, “Badgir in Traditional Iranian Architecture,” Passive and Low Energy Cooling for the Built Environ-ment conference, Santorini, Greece, May 2005.

167 الآلة الأولى التي استخدمت: U.S. Department of Energy, “History of Air Conditioning,” www.energy.gov. Also “The Invention of Air Condi-tioning,” Panama City Living, March 13, 2014, www.panamacityliving.com 168 بعد مرور ما يزيد على القرن: International Energy Agency, “The Future of Cooling,” www.iea.org 169 يبلغ عدد وحدات التبريد المستخدمة في العالم 1,6 مليار جهاز: International Energy Agency, www.iea.org 169 الرسم: أجهزة التبريد في تقدّم مستمر: استنادًا إلى بيانات وكالة الطاقة الدولية من The Future of Cooling, IEA (2018), www.iea.org/statistics. All rights reserved; as modified by Gates Ventures, LLC

169 وشهد العالم كلّه ارتفاعًا في المبيعات بنسبة 15 %: المرجع نفسه.

171 في الولايات المتحدة الأميركية: وكالة حماية البيئة الأميركية، www.epa.gov.

173 جدول: العلاوة الخضراء لتركيب مضخة حرارية تعمل على الهواء: مجموعة روديوم. يوضح هذا الجدول القيمة الحالية الصافية لمضخة حرارية تعمل على الهواء مقابل سخان غاز طبيعي ومكيف هواء كهربائي في منزل جديد. يتم احتساب التكاليف باستخدام معدل حسم بنسبة 7 % والأسعار

الحالية للكهرباء والغاز الطبيعي اعتبارًا من صيف العام 2019 على امتداد عمر المضخة الحرارية أي 15 عامًا.

174 إذا كان صحيحًا أن المضخات الحرارية تُعدّ من الحلول الفائقة الأهمية: إدارة معلومات الطاقة الأميركية، www.eia.gov.

175 جدول: العلاوة الخضراء المطلوبة لاستبدال بدائل خالية من الكربون بوقود التدفئة الحالي: مجموعة روديوم، بحوث الطاقة المتطورة، IRENA, Agora Energiewende. تمثل أسعار التجزئة السعر الوسطي في الولايات المتحدة ما بين العامين 2015 و 2018. تعكس الخيارات الخالية من الكربون الأسعار الحالية المقدّرة.

176 إذا كانت تستخدم لتدفئة المنزل: المرجع نفسه.

177 أفضل مثال على ذلك: Bullitt Center, www.bullittcenter.org 177 الصورة: Nic Lehoux.

الفصل التاسع: التكيّف مع عالم أدفأ

189 الصورة: ©Bill & Melinda Gates Foundation/Frederic Courbet.

181 يبلغ عدد صغار المزارعين في العالم 500 مليون: Max Roser, Our World in Data web-site, ourworldindata.org 182 المواطن الكيني النموذجي: البنك الدولي، 184 www.data.worldbank.org العالم يعرف الكثير: GAVI, www.gavi.org 187 في الواقع تعدّ مسألة مضاعفة التمويل المخصّص لـ CGIAR's funding: Global Commission on Adapta-tion, Adapt Now: A

Global Call for Leadership on Climate Resilience, World Resources Institute, Sept. 2019, gca.org 188 الصورة: من مجموعة صور المعهد الدولي لبحوث الأرز (IRRI)، لوس بانوس، لاغونا، الفلبين.

189 من المتوقّع أن تكون النتائج مثيرة: منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة، State of Food and Agriculture: Women in Agriculture, 2010– 2011, www.fao.org 193 الصورة: Mazur Travel via Shutterstock.

196 الفقر المدقع يشهد تراجعًا: World Bank, "Decline of Global Extreme Poverty Continues but Has Slowed," www.worldbank.org الفصل العاشر: أهمية السياسات الحكومية

200 الصورة: Mirrorpix via Getty Images.

202 نتيجة هذه الجهود: إدارة معلومات الطاقة الأميركية، www.eia.gov
213 أعطت ألمانيا السوق زخمًا: وكالة الطاقة الدولية.

213 وفي العام 2011، استخدمت الولايات المتحدة: وزارة الطاقة الأميركية، ""Renewable Energy and Efficient Energy Loan Guarantees, www.energy.gov.

214 الصورة: Sirio Magnabosco/EyeEm via Getty Images.

الفصل الحادي عشر: خطة لبلوغ نقطة الصفر

224 استغرق المشروع 13 عامًا: أرشيف معلومات مشروع الجينوم البشري، "Potential Benefits of HGP Research," web.ornl.gov 224 أظهرت

إحدى الدراسات التي أُجريت بشكل مستقلّ: Simon Tripp and Martin Grueber, “Economic Impact of the Human Genome Project,” Battelle Memorial Institute, www.battelle.org الفصل الثاني عشر: ما يمكن أن يفعله كلٌّ منّا

249 «عندما يكون لدينا وجهة نظر قائمة على الحقائق»: Hans Rosling, Factfulness: Ten Reasons We’re Wrong About the World—and Why Things Are Better than You Think, with Ola Rosling and Anna Rosling Rönnlund (New York: Flatiron Books, 2018), 255.

خاتمة: تغيّر المناخ وكوفيد–19

252 السود واللاتينيون: “Race, Ethnicity, and Age Trends in Persons Who Died from COVID- 19— United States,” May– August 2020,” U.S. Centers for Disease Control https://www.cdc.gov 252 بين متلقّي الرعاية الطبية: “Preliminary Medicare COVID- 19 Data Snapshot,” Centers for Medicare and Medicaid Services, https://www.cms.gov 253 وجدت دراسة أجراها معهد المقاييسه الصحية والتقييم: “Goalkeepers Report 2020”,” https://www.gatesfoundation.org 254 في العام 2018، دعم استثمار حكومة الولايات المتحدة: “Impacts of Federal R&D Investment on the U.S. Economy,” Breakthrough Energy, https://www.breakthroughenergy.org



صدر عن شركة المطبوعات للتوزيع والنشر

سلسلة العلوم

د. كريستين نصّار

- **اتجاهات معاصرة في العلاج النفسي**
- **التوحّد**
- **كيف نواجه الاكتئاب؟**
- **كيف تؤكد ذاتك؟**
- **واقع التربية في المجتمع الشرقي المعاصر**
- **الوسواس**

د. معين حداد

- **إشكاليّة المكان**
- **التغيُّر المناخي**
- **الجغرافيا على المحكّ**
- **الجيوبوليتيكا**
- **الشرق الأوسط**
- **نقد الفكر الوطني**

د. نزار الناصح

- **حول نظرية النسبية**
- **القدرة العقلية: درجة الذكاء، حاصل الذكاء**

د. إبراهيم يوسف العبدالله

- **الإصلاحات التربوية لمواجهة متطلبات العصر وتحديات المستقبل**
- **رفع الكفاءة الإنتاجية للمؤسسة المدرسية**

د. اسماعيل الأمين

- **التلفزة المعاصرة: سلطة رابعة أم سلطة مربّعة؟**
- **الكتابة للصورة**
- **كيف تكتب خبراً تلفزيونياً**

د. عبد اللطيف معاليقي

- **دراسة التصرفات عند الحيوان**
- **المراهقة: أزمة هوية أم أزمة حضارة؟**

د. نخلة وهبة

- **رُعب السؤال وأزمة الفكر التربوي**
- **كي لا يتحول البحث التربوي إلى مهزلة**

د. علي زيعور

- **حقول التحليل النفسي والصحةُ العقلية كما الروحيةُ والحضارية**
- **الفلسفة المَحْضة والفلسفات النفسيَّة والطبيعيَّة**

د. غسان مراد

- **الإنسانيات الرقمية**
- **دهاء شبكات التواصل الاجتماعي وخبايا الذكاء الاصطناعي**
- **مرايا التحوّلات الرقميّة**



- **أبناء الطوائف** – علي خليفة
- **الإتيكيت** – صباح بويا سولاقا
- **أسرار دوام العلاقات** – ايمانويل دي بويسون
- **أفكر إذن: أنا كمبيوتر** – عادل فاخوري
- **البحث «العلمي» بنماذجه الأسياسية** – د. أحمد الصيداوي
- **تأمّلات في ثقافات رديئة** – د. يوسف الحسن
- **التربية والتنمية والنهضة** – د. عبد العزيز محمد الحر
- **تعريب التعليم وتعلُّم اللغات الأجنبية** – د. نزار الزين
- **التعليم من المهد** – فتحية محمود صدّيق
- **الجرائم المالية في الفضاء الإلكتروني** – د. خضر درّة
- **الجريمة باسم الشرف** – رنا الحسيني
- **الحوكمة والإدارة الرشيدة** – د. عبدالله عبد الكريم عبدالله
- **دمج ذوي الحاجات الخاصة وفئة الصعوبات التعلُّمية** – رانا بو عجرم
- **الزواج المدني بين الإسلام والمسيحية** – إعداد مركز الدّراسات والأبحاث الإسلاميّة – المسيحيّة، إشراف الشيخ محمد علي الحاج العاملي
- **السمات الصوتية المميّزة في الخطاب الشعريّ** – أ.د. نوزاد حسن أحمد خوشناو
- **طرائق ومنهجية البحث في علم النفس** – د. فاروق مجذوب
- **العالم العربي: التحوّل الثقافي الاجتماعي** – بولس الخوري

سلسلة العلوم

- **علم النفس والعولمة** – د. مصطفى حجازي
- **فعالية المدرسة في التربية المواطنية** – د. نمر فريحة
- **كيف نواجه الخوف** – م.ك. غوبتا
- **كيف نجتنب كارثة مُناخيّة** – بيل غيتس
- **اللاتجانس الاجتماعي** – د. عدنان الأمين
- **مثلّث النهضة: التربية والتنمية والحُكم الصالح** – نادين الفرنجي
- **المرأة العاملة في لبنان** – د. جاك قبانجي – د. أسعد الأتات
- **الوضع السكاني في لبنان** – د. حلا نوفل رزق الله

Notes

[1←]

اثنان وخمسون مليار طن وفق أحدث البيانات المتوافرة. فالانبعاثات العالمية تراجعت بعض الشيء في العام 2020 ، بمقدار 4.5 % لأنّ جائحة كوفيد- 19 تسبّبت بإبطاء العجلة الاقتصادية بشكل درامي.

[2←]

تعتبر الطاقة المائية، أو الطاقة التي تُولَّد من مياه السدود، من مصادر الطاقة المتجدِّدة الأكبر حجمًا في الولايات المتحدة.

إلا أننا استنفدنا معظم الطاقة المائية المتوافرة ولم يعد بمقدورنا توفير مزيد منها. علينا أن نجد مصدرًا آخر لتوليد مزيد من الطاقة النظيفة.

[3←]

تستخدم معظم التقارير المتعلّقة بالتغيُّر المناخي مقياس الدرجة المئوية لإعداد التقارير عن التغيُّرات في درجات الحرارة، وسألتزم هذه الممارسة في هذا الكتاب، لأنّ هذا المقياس هو الأكثر رواجًا في معظم التقارير الإخبارية. لتكوين فكرة دقيقة بشكل كافٍ وتفي بمعظم الأغراض عن تقلّبات درجات الحرارة بمقياس فهرنهايت، يكفي أن تضاعف العدد بمقياس الدرجة المئوية من دون أن تنسى بأن تقديرك مرتفع قليلاً. وبما أنّ معظم الأميركيين معتادون على التعامل مع مقياس فهرنهايت، سأستخدم هذا المقياس عند الإشارة إلى درجات الحرارة اليومية.

[4←]

في ما يلي المسألة الرياضية: قُدّرت النماذج الحديثة التكلفة السنوية للتغيُّر المناخي في العام 2030 بحوالى 0.85 % إلى 1.5 % من الناتج المحلي الإجمالي في أميركا. فيما قُدّرت مؤخرًا تكلفة جائحة كوفيد- 19 ب 7 % إلى 10 من الناتج المحلي الإجمالي في أميركا لهذه السنة. في حال افترضنا أنّ هذا الخلل يمكن أن يحدث كلّ عشر سنوات، فذلك يعني تكلفة سنوية تعادل 0.7 % إلى 1 من الناتج المحلي الإجمالي، أيّ ما يقرب من الضرر المتوقَّع من التغيُّر المناخي.

[5←]

يمكن الاطّلاع على كامل الخطاب «هذه هي المياه » مباشرة عبر الإنترنت وعلى شكل كُتيّب. إنه مميّز فعلًا.

[6←]

تمثّل هذه النسب المئوية إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في العالم. عند تبويب هذه الانبعاثات من مصادر مختلفة، عليك أن تقرّر كيفية احتساب المنتجات المسبِّبة للانبعاثات، عند تصنيعها وعند استخدامها على حدٍّ سواء، كما هي الحال بالنسبة إلى غازات الاحتباس الحراري المنبعثة عند تكرير النفط وتحويله إلى بنزين وعند إحراق البنزين. أدرجت في هذا الكتاب كافة الانبعاثات المترتّبة عن صناعة الأشياء في الفصل المعنون «كيف نصنع الأشياء » وكافة الانبعاثات المترتّبة عن استخدامها ضمن الفئة العائدة لكلّ منها. ما يعني أنّ تكرير النفط يُدرَج ضمن «كيف نصنع الأشياء » وإحراق البنزين يُدرَج ضمن «كيفية التنقّل».

وتطبّق القاعدة نفسها بالنسبة إلى السيارات والطائرات والسفن: فالفولاذ المصنوعة منه تُدرَج ضمن «كيف نصنع الأشياء»

والانبعاثات الصادرة عن الوقود الذي تحرقه ضمن «كيفية التنقّل».

[7←]

يمكن لكثافة الطاقة في الطاقة الشمسية أن تبلغ من الناحية النظرية 100 واط لكل متر مربع، في حين لم يتمكّن أحد بعد من تحقيق ذلك.

[8←]

استشرت عدّة أشخاص بشأن العلاوة الخضراء، بما في ذلك خبراء من مجموعة روديوم، وشركة البحوث المتطوّرة في مجال الطاقة، والباحث في الشؤون المناخية الدكتور كين كالديرا. لمزيد من المعلومات حول كيفية احتساب العلاوات الخضراء في هذا الكتاب، يمكن زيارة الموقع التالي: .breakthroughenergy.org

[9←]

استخدمت عبارة «الطاقة » بشيء من التصرف. فمن الناحية التقنية، تستخدم عبارة الطاقة للدلالة على معدل التدفق الكهربائي التي تقاس بالواط. سأستخدم في هذا الكتاب عبارة الطاقة بمعنى أكثر شمولية كمرادف للطاقة الكهربائية، لتسهيل القراءة.

[10←]

ترتكز هذه الحسابات على تقييم لدورة حياة السدود. يعتبر تقييم دورة الحياة من المجالات المثيرة للاهتمام بحيث يشمل توثيق كافة غازات الاحتباس الحراري المسؤول عن انبعاثها منتجًا معينًا، منذ لحظة ظهوره إلى لحظة انقضائه. كما وأنّ هذه التقييمات مفيدة في تحليل تأثير المناخ على التكنولوجيات المختلفة، على الرغم من كونها معقّدة بعض الشيء. لهذا السبب، سأركّز في هذا الكتاب على الانبعاثات المباشرة، لكون شرحها أكثر سهولة ويؤدّي بصورة عامة إلى الاستنتاجات نفسها.

[11←]
يمكن اعتبار خطوط النقل على أنها الطريق السريع وخطوط التوزيع على أنها الطرق المحلية. نستخدم خطوط النقل العالية الفولطية لنقل الكهرباء من محطة توليد الطاقة إلى المدينة. تدخل بعدها الكهرباء في نظام التوزيع المحلي المنخفض الفولطية، أو خطوط الكهرباء التي تراها في الحيّ الذي تقطنه.

[12←]
تطال الاختلافات الموسمية الرياح أيضًا. ففي الولايات المتحدة، تكون الرياح في ذروتها في الربيع وتصل إلى أدنى مستوياتها في منتصف الصيف أو أواخره)في حين أنّ الوضع معاكس في كاليفورنيا(. من الممكن أن يكون الاختلاف مضروبًا باثنين أو أربعة.

[13←]
إليك كيف توصلت إلى هذه الأرقام: ما بين 6 و 8 آب/أغسطس 2019 ، استهلكت طوكيو 3122 جيغاواط-ساعة من الطاقة الكهربائية. في ما يتعلّق بمحطة الحِمل الأساسي، افترضت وجود 5.4 ملايين بطارية تعمل بالتدفّق الحديدي قابلة للتشغيل لمدة 20 سنة وبتكلفة توازي 36 ألف دولار أميركي لكل وحدة. من أجل فترات ذروة الطلب، افترضت وجود 9.1 ملايين بطارية تعمل بتدفّق الليثيوم قابلة للتشغيل لمدة 10 سنوات وبتكلفة توازي 23,300 دولار أميركي لكل وِحدة.

[14←]
هذا النموذج متوافر مباشرة على الإنترنت ليتمكّن الجميع من الاطّلاع عليه. للحصول على مزيد من المعلومات، يمكن زيارة الموقع التالي: breakthroughenergy

[15←]
يمكن وصف تاريخ فريتز هابر بالمعقّد. فإلى جانب إسهامه في إنتاج الأمونيا وإنقاذ حياة الكثير، كان رائدًا في اكتشاف استخدام الكلورين والغازات السامة الأخرى كأسلحة كيميائية في خلال

الحرب العالمية الأولى.

[16←]
بالنسبة إلى الأشخاص الذين يعتمدون على سياراتهم، يعتبر الوقود ضرورة حيوية أكثر أهمية من كافة المواد الأخرى التي ذكرتها.

إذا كنت من الأشخاص الحريصين على ضبط نفقاتهم، من الممكن أن تتأثّر بأزمة ارتفاع أسعار الوقود أكثر من ارتفاع أسعار زيت الزيتون مثلاً، الذي بوسعك الاستغناء عنه. ولكنّ النقطة الأساسية هي أنّ الوقود يعتبر المادة المتدنية الثمن نسبيًا مقارنة بالأشياء الأخرى التي نستهلكها بشكل منتظم.

[17←]
على سبيل التذكير، اكتفيت بحساب الانبعاثات الناجمة عن الوقود الذي تحرقه المركبات على اختلافها. فالانبعاثات الناجمة عن تصنيعها، لجهة تصنيع البلاستيك والفولاذ، وتشغيل المعامل وسوى ذلك، مدرجة في الفصل 5 المتعلّق بكيفية صناعة الأشياء.

[18←]
تمثّل الكهرباء 99 % من الطاقة المستخدمة لتبريد الأماكن في العالم أجمع. ويرتبط الواحد بالمئة المتبقي بالمبرّدات التي تعمل بالغاز الطبيعي. يمكن استخدام هذا النوع من المبرّدات في المنازل المخصّصة لعائلة واحدة، ولكن نسبة توافرها في الأسواق ضئيلة جدًا بحيث أنّ إدارة معلومات الطاقة لا تجمع أيّ بيانات عنها.

[19←]
كانت مجموعة CGIAR في بدايته عبارة عن مجموعة استشارية للبحوث الزراعية الدولية. من هنا يشتقّ الاختصار المستخدم باللغة الأجنبية.

[20←]
يتولّى إدارة اللجنة 34 مفوضًا، بمن فيهم قادة حكوميون، رجال أعمال، منظمات لا تبغي الربحية والمجتمع العلمي؛ فضلاً عن 19 دولة راعية تمثل كلّ المناطق في الكرة الأرضية. توفر شبكة عالمية من الشركاء البحثيين والمستشارين الدعم للجنة، كما يشارك في إدارتها المركز العالمي المعني بالتكيّف ومعهد الموارد العالمية.

[21←]

إليك العملية الحسابية: تمتصّ الأرض أشعة الشمس بمعدل 240 واطًا تقريبًا لكلّ متر مربع. إنّ كمية الكربون المتوافرة حاليًا في الغلاف الجوي تكفي لامتصاص معدل متوسّط من الحر يوازي تقريبًا 2 واط لكلّ متر مربع. لهذا، علينا تعتيم الشمس بمعدل 240/2 أو 0.83 %. غير أن السحب قادرة على التكيّف مع الهندسة الجيولوجية الشمسية، ما يعني أننا في حاجة إلى تعتيم الشمس بنسبة أكبر بعد، لتصل إلى 1 % من أشعة الشمس الواردة. في حال تضاعف كمية الكربون في الغلاف الجوي، سيتمّ امتصاص الحر بمعدل 4 واط لكلّ متر مربع، وعلينا في هذه الحالة مضاعفة نسبة التعتيم لتصل إلى 2 %.

[22←]

تعتبر الحرائق الهائلة كتلك التي اجتاحت غرب الولايات المتحدة في العام 2020 ، مشكلة منفصلة ولكنها ذات صلة. فالدخان المتصاعد من الحرائق الهائلة في العام 2020 أجبر ملايين الأشخاص على ملازمة منازلهم حرصًا على سلامتهم.